物理大辭典

一 畫 ～ 四 畫

人文出版社印行

物理大辭典

一畫～四畫

人文出版社印行

中華民國七十四年五月再版

物理大辭典

主　　編：段木干
編　　輯：本社編委會
出版者：人文出版社有限公司
社　　址：台中市忠明路二十巷十一號
電　　話：二五一八八八八號
郵　　撥：〇〇二八〇〇〇一七號
登記證字號：局版台業字一三三二號
發行人：段鏡
住　　址：台中市忠明路二十巷十一號
電　　話：二五一八八八八號
印刷廠：三興彩色印刷廠
地　　址：台中市健行路八五六號
電　　話：三一八五六二號

編 輯 大 意

一、二十世紀物理學的驚人發展，已改變了全體人類的生活。因此，我們博採舉凡有關物理的一切名詞、概念和現象，言簡意賅的加以說明，彙成本辭典，提供給學術界和社會人士，作爲參攷查閱之用。

二、全書共六千餘頁，約八百萬字，二十四開大本，精裝九册。內容豐富，編校審愼，是我國目前唯一一部取材最龐大、收錄最完全的物理大辭典。

三、本辭典係依每一名詞起首文字之中文筆畫多少，定爲先後順序，幷採用科學方法編排，檢校查攷，極爲便利。書前列有物理學概論，簡介物理學的發展小史及其主要內容，期使讀者能獲得基本而有系統的物理常識。書後列有附錄多種，諸如實驗法則與實驗方法、物理標準和物理常數、力和運動、熱學、聲學、光學、電磁學以及高能物理、量子物理、太空科學等等，重要資料，應有盡有。

四、本書名詞，採用民國六十年國立編譯館新編訂之物理學名詞爲主。書後編有英文索引一册，可以中英對照，互相查攷。

五、科學的專門名詞，日日見增，而一部精良的工具書，實可使學術研究工作，收到事半功倍之效。是以本辭典係應當前社會之需；惟因付梓匆促，誤漏在所難免，尚祈學者不吝敎正。

編 者

六十三年春

物 理 學 概 論

人類自有文化以來，對自然界的各種現象，就作或深或淺的探討，其目的均是企圖獲得有系統、有組織的知識。物理學之蔚爲科學，亦復如此。

〔I〕物理學的發展

(一)古典物理學(*Classical physics*)

在十六、七世紀中，一般科學之發展都顯得緩慢和零亂，多數是些互不相關的發現與觀察事象的記錄，缺乏系統的整理和實驗的證實。直到十八世紀末期，由於實驗方法之引進，各種定律與原理先後建立，遂使物理學得有長足的進步；而逐漸具備嚴謹條理的規模。十九世紀，數學更成爲研究物理學的重要工具，與理論密切結合，使實驗的精確程度大大提高。至是物理學已經發展成爲內容充實、結構嚴謹的科學了。此一階段的物理學後來被稱爲古典物理學，它有幾個分支，即力學(*Mechanics*)、電磁學(*Electromagnetism*)、聲學(*Acoustics*)、光學(*Optics*)和熱學(*Heat*)。

一、力學

在自然界現象中，物體的運動，大至天體之運行，小至吊燈之擺動，都是顯而易見的力之作用。因此對這門學問作有系統的研究，也開始得最早。經過伽立略(*Galileo*)、刻卜勒(*Kepler*)和牛頓(*Newton*)等多人的努力，奠定了力學的基礎。自十九世紀數學成爲研究力學的理想工具後，再加上拉格朗(*Joseph Lagrange*)和漢彌頓(*William R. Hamilton*)等人的貢獻，使力學逐漸發展成爲相當完整的科學，蔚爲古典物理學內重要的一支。

學習物理學首先都從力學入手，因爲它所包含的材料，有很多和我們日常生活有密切的關係。

在運動學（*Kihematics*）內，先予以定義，繼之敍述空間、時間、速度和加速度等種種觀念。其中，時間和空間只是我們日常生活的直覺觀念，並未給予明確的定義。依牛頓的觀點，空間和時間是絕對的。他認爲空間的存在是永恆的，與空間中是否有物質的存在，毫無關係；而時間也是一直向前流去，與物體的存在及物理現象之發生與否無關。從時間和空間的量度，討論到運動物體的速度、加速度以及因觀察者在不同的參考坐標系上所描述的物體運動，其速度或加速度的關係。

牛頓的運動定律是力學的主要部分，第一定律又稱慣性定律，凡物體均有慣性能保持靜止或在直線上繼續運動，除非受外力作用，不能改變其狀態。此定律原爲伽立略所發現的慣性原理，根據此定律可以明瞭，凡是能夠改變物體運動狀態的作用即稱爲力（*force*）。第二定律又稱運動定律，乃物體之加速度與其所受之力成正比，而和物體的質量成反比。這是一條眞正的物理定律，可作爲實驗或觀測歸納出來的結果。由此定律可以量度物體的慣性質量。第三定律又稱反作用定律，即兩物體間有一作用力，必生一方向相反、大小相等之反作用力。此定律所說的作用力與反作用力是同時量度的，所以除非物體間的交互作用是以無限大的速度進行，否則這一定律只能算是一近似自然律。至今已曉得的速度都小於光速，故此定律只能適用於物體間的作用力爲接觸力的情形。

從牛頓的運動定律，引入質量、力、動量、能量和位能等觀念，並敍述質點羣的運動，有系統地建立起動量和能量的守恆性。同時強調伽立略不變性（*Galilean invariance*），將其改述爲一一基本物理定律經伽立略變換後，其形式不變。

由質點羣的運動，討論到剛體的運動和角動量的關係，並引入慣性

矩的觀念。除了論及一般線型運動和轉動以外，在自然界中尚有一種非常重要的運動，即質點對某一平衡點作週期性的往復運動，此種運動稱爲振盪（*oscillation*）。大部分的振盪都近似簡諧運動（*simple harmonic motion*）；簡諧運動可以說是最重要的一種振盪。

牛頓除了建立運動定律以外，更由於個人的領悟以及對刻卜勒三大定律的分析，創立重力場定律；從而印證刻卜勒三大定律所描述的行星軌道運動。（刻卜勒第一定律亦稱軌道定律，太陽系中各行星均以太陽爲其一焦點而作橢圓軌道運動。第二定律亦稱面積定律，自太陽至行星的半徑向量，在相等的時間內，掃過相等的面積。第三定律是闡述各行星運動週期的平方，與其半長軸的立方成正比，此定律亦稱週期定律。）

二、電磁學

物理學之另一部門——電學（*Electricity*），肇始於紀元前600 年的古希臘，最初是因發現摩擦過的琥珀吸引小而輕的物體。可是這種現象，與人類的感覺沒有太直接的關係，所以當時並不受人注意。自此延續了將近二千二百年之久，直到西元 1600 年，英人吉伯（*William Gilbert*）研究此現象，才知道許多物體都具有同樣的性質。後來又發現物體帶有正負兩種電荷的現象，於是創立了電液學說。其後，富蘭克林（*Benjamin Franklin*）更認爲正負電荷的現象，是一種簡單電液盈虧的結果。

除了電學之外，還有一部門——磁學（*Magnetism*），係起始於古希臘人對鐵礦（Fe_3O_4）吸引鐵屑之觀察。在十九世紀以前，尚不知電與磁有何種關聯，及至十九世紀初葉，厄司特（*Hans Christian Oersted*）發現電流帶有磁之現象，始知電與磁不是各自獨立的科學。法拉第（*Michael Faraday*）最先發現，電磁感應等之電磁現象，以及電磁感應之磁力線；前者對近代整個物質文明貢獻甚大，後者對物理學之理論觀念，具有極基本性的影響。

繼法拉第之後，馬克士威（ *James Clerk Maxwell* ）更從理論上對電磁現象予以整理，並以數學方式，得一包括全部電磁現象的電磁理論——著名的馬克士威電磁方程式。之後，又有荷蘭大物理學家羅倫茲（ *H. A. Lorentz* ）將馬克士威的成就加以擴充，建立了羅倫茲電動力學。同時，電磁輻射（ *electromagnetic radiation*）的理論，也相繼建立。

在電磁學裏，首先引介電荷與電場的觀念及其性質。任何一種物質，不論是氣體、液體或固體，都潛在有電的本能。因爲物質是由各種元素所構成，而元素分析到不能再分時就是原子；但是原子仍不能算是最小單位，因爲原子是由兩種特性不同的微小粒子所組成的，這兩種微小粒子就是電荷。電荷有正負兩種，同類的互相排斥，異類的互相吸引，而在一隔離系統中的總電荷是永遠守恆的，這是電荷的守恆性。

電荷與電荷間的交互作用可以分成兩部分：一部分是說電荷各自建立了一個場——電場（ *electric field* ）；另一部分是說其中一電荷所建立的"場"，作用在另外的電荷上。在概念上，利用場的觀念，使我們避免直接談及超距作用，而把電荷間的作用力，視爲電荷受其所在位置電場的影響。由"場"的性質可定義出電位（ *electric potential*），利用電位的觀念可以簡化電場的計算。

在電學中，能量守恆性與力學同樣重要，將能量的觀念應用到電學問題裏，對電場能量的轉換可加以討論。而電極化的觀念卻是論及介電質內電場的表現所必須具備的。另外導體內的電流以及由電流所引起的磁場及其性質，是電學中的主要內容。

一般物質的磁性，依照普通的說法可劃分爲抗磁物質、順磁物質和鐵磁物質三種，除此外有一些特殊的物質不能被包括在這三種磁性物質之內。由磁鐵所表現的性質建立磁場的概念，繼由磁場的性質定義一個向量位（ *vector potential* ），以研討電流線圈的磁場、磁偶極、磁

極矩及與其有關的能量。以類似古典力學的方法解釋物質的磁性效應，有時在概念上會發生不協調的現象，因而必須以近代物理中量子力學（*Quantum mechanics*）的方法才能充分解釋。嚴格地說，物質的磁性效應純粹是量子力學的現象。

從法拉第發現電磁感應現象後，使電場與磁場的觀念連接起來，而失去其原有的獨立性。綜合電場與磁場的性質以及其相互間的關係，再引進位移電流（*displacement current*）的觀念，就導出四個縱橫電磁學的馬克士威方程式（*Maxwell's equation*）。其他如電磁振盪、電磁波的表現和性質以及基本電路的成分和原理，亦是電磁學所研討的範圍。

三、聲學和光學

人類的感官對外界之接觸，除了物體的運動以外，對於聲和光亦有所感覺。因此聲學和光學也是成立相當早的科學。關於聲在空氣中的傳播，在牛頓時代就開始有理論，而光學的發展，更是多彩多姿。

古希臘哲人曾想像"光"爲粒子所組成，後來由牛頓倡導此一學說。但是與牛頓同時代的虎克（*Robert Hooke*）卻提出光爲波的不同說法，此說繼由惠更斯（*Christian Huygens*），加以發揚光大，並創立光之波動說。

因爲在牛頓時代用光之質點說，很容易解釋光之直線傳播現象，故當時大多數人均贊成光之質點說。此種學說一直到十九世紀初，仍佔優勢。直到英人楊格（*Thomas Young*）及法人夫果涅爾（*Augustin Fresnel*）分別發表光之干涉現象後（此種現象是光之質點說所不能解釋的，但從波動的觀點，卻可以解釋），使光之波動說得到進一步的證實。後來馬克士威提出光之電磁波的理論，使光波的性質更爲齊備。由此光學也就成爲古典物理學的另一大支。

聲學所研究的是聲波及其性質。在未論及聲波前，必須先瞭解波動

以及與波動有關的重要概念。波有聲波、水波和繩波等之區別，“波動”是可變形介質的一部分受振動後引起其鄰近的介質依次作同樣週期性振動的現象。聲音是振源鼓動空氣而傳遞能量的波動現象，聲音現象的探討是波動原理的應用，所以波動方程式、波動函數及重疊原理是研究聲學不可缺少的工具。

聲波是縱波之一，通常是依靠空氣來傳播，但並非必須依靠空氣才能傳播，其他的氣體、液體和固體也能傳遞聲波。聲波的形狀，不是固定不變的，它常隨著振源介質以及接受者的運動狀況而變更。聲波的速度會隨著介質的種類、溫度和濕度的不同而改變。凡此種種都是聲學所討論的範圍。

“光”是原子或分子內的電子運動狀態改變時，所發出的電磁波。由於它是我們唯一能直接感受的電磁波，因此在物理學的發展史上獨立成爲光學。目前已知它只不過是電磁波譜中的一極小部分。

研究光學時，首先是討論光的波動性及其反射、折射、干涉和繞射等性質；電磁波的傳播趨近於直線進行，對光而言，以日常生活的尺度去觀察是符合的。因此光在各均勻介質中爲直線進行，其傳遞情形可用幾何作圖法來推定。

光的偏振，在光學裏也是非常重要的一部分。光之反射、干涉與繞射，對電磁場的方向是沒有多大關係的；但是若有一種晶體，其構造形狀只允許它所含的帶電質點在一個方向運動，則電磁場的方向就顯得很重要。如果對物質的結構瞭解很清楚，由作用的情形是可以知道光的偏振情況。反之，若是先瞭解光的偏振情形，由光與物質作用的反應，可以對物質的構造，得到一些知識。

四、熱學

“熱”的感覺，也是人類的重要感官之一。自然界中；“熱”的現象很早就爲科學家們所注意。

在早期為解釋“熱”的各種現象或效應，曾認為物體中有熱質（*caloric*）或“熱”之一物，出入於其間。1798年冉福得（*Count Rumford*）提出熱質說是否眞確之重要問題。他對大砲穿孔，曾作多次實驗；若使用的鑽較鈍，則鑽下的物質雖然較小，但卻會產生大量的熱，使適量的水沸騰。由此實驗，他得到一個結論，即所生之熱量，並不與鑽下的粉末量成正比，係與取得粉末所需之機械功成正比。次年德維（*Humphery Davy*）曾做相似而更顯著的實驗。他將溫度在冰點以下的兩冰塊互相摩擦，發現在眞空中亦能使他們溶解，他解釋此種熱為機械作功所產生的。自此以後，對於熱由機械功而產生，或由熱而發生機械功之觀念，漸為世人所承認。更由於焦耳（*James Prescote Joule*）及其他學者所做之更精密的實驗，才確定了功量等於熱量，奠定了能量不滅定律。另一方面，由克勞修士（*Clausius*）及克耳文（*Kelvin*）等學者之研究，建立了所謂熱力學第二定律，由是遂發展成為熱力學（*Thermodynamics*）。

十九世紀中後葉更有分子運動論之發展，雖然當時尙無原子、分子存在之直接實驗證明，但基於力學的觀念，可以解釋許多與熱有關的現象，當此種觀念被引入之後，就產生了統計力學（*Statistical mechanics*）。

一般所謂熱學的範圍，不外乎一些溫度計以及熱的傳導等問題。熱力學所討論的，主要是以新的概念介紹溫度、熱能以及熱能與他種形式的能量之轉換情形。它的範圍非常廣泛，其所研究的對象稱為熱力學體系（*thermodynamical system*）。任何常觀物系都可以被視為熱力學體系，而給予一種熱力學上的描述。用以描述熱力學體系的常觀物理量，叫做熱力學坐標（*thermodynamical coordinates*）。熱力學有三個定律；第零定律：如果物系 A 和物系 C 處於熱平衡，而且物系 B 和物系 C 也處於熱平衡，則物系 A 和物系 B 也必處於熱平衡；第一定律

：若熱力學體系只經歷無限小之狀態改變，只吸收無限小量之熱 dQ ，且只作無限小量之功 dW，則內能 U 改變亦是無限小，即 $dU = dQ - dW$；第二定律：任何循環的機器不可能連續將熱自一物體送至另一溫度更高的物體，而不產生其他效應。由這些定律可建立熱力參數之間的關係。

物質是由基本粒子所組成，因此在合理的理論基礎上，熱力學所討論的一些常觀性質，如壓力、體積、溫度等，以及描述物性的定律，可以從結構粒子的理論中找到依據；氣體的分子運動論和統計力學這兩種微觀描述法的基本理論，是從結構粒子的論點上，以研究常觀物系一些基本性質的方法。

運動論（*Kinetic theory*）不僅可以描述處於平衡狀態下的物系，也可以描述不平衡物系的現象。在討論一般氣體的性質時，是先把氣體視爲近似的理想氣體，然後根據這種理想氣體的模型，從微觀的觀點來描述理想氣體的性質，而一般氣體的性質也可以從理想氣體的性質加以適當的修正後得到了解。由運動論推導出來的結論，與實驗的事實相當接近。但在氣體運動論裏，對粒子之間的作用力，給予一些很合乎事實的假定；而固體、液體分子間的作用力，比氣體的情況要複雜得多。因此若以運動論的方法去探討固體、液體的微觀描述，其問題就不像在氣體運動論那麼簡單。對於不平衡的固體、液體的描述，不論在什麼情況下，只能用運動論去探討；但是對平衡的固體、液體以及任何熱力平衡的物系，就需要用一種比運動論更完美的微觀描述法，那就是統計力學。

在統計力學裏，無論粒子受何種力的變化，在同一時刻下，它具有一定的狀態。而當時間變化時，它的狀態或保留或變成另一狀態。假若粒子所受的力，可以用古典力學來描述，則由此發展的統計力學，就是古典統計力學。

(二)近代物理學(*Modern physics*)

十九世紀末葉，一般人以爲有關物理方面的重大發現，均已完成。不料在 1895 年十二月二十八日，倫琴(*W.C.Röntgen*)提出 *X* 射線之發現後，使舊有的物理世界大爲改觀。隨後又有貝克勒(*Antoine Henri Becquerel*)及居里夫婦(*P.Curie*；*Madame Marie Curie*)相繼提出放射性的發現，另外湯木生(*J.J.Thomson*)提出電子的發現。自此以後，物理學遂又面目一新。近六十年中，許多新奇、重大的發現，陸續開拓了許多新的學識領域，如相對論、浦朗克(*Planck*)的量子論、固態物理及原子能、核能等。愛因斯坦(*Albert Einstein*)所倡導的相對論(*theory of relativity*)以及由海森堡(*Heisenberg*)、薛丁格(*Schrödinger*)與狄悅克(*Dirac*)等人所發展成的量子力學，使物理學本身起了十分深遠的改革，它改變了研究者的觀點及處理問題的方法。同時由於各種測量儀器，如原子鐘等的發明，使研究者的自信與效率大爲提高，尤其是在 1953 年電腦的發明，使工作者的效率提高至千萬倍，致使物理學探討的領域益見遼濶，所獲得之成果益見豐碩。所以今日就把十九世紀末葉以前的物理學劃爲古典物理學，而將十九世紀末葉以後，最近七十年來的物理學劃爲近代物理學。

近代物理學所論及的主要有量子物理、原子物理、固態物理、核子物理、粒子物理和正在發展中的電漿物理等。

在古典力學、特殊相對論及電磁學中所處理的都是一些常觀的問題。古典力學的定律，只能適用於速度較低的場合，而特殊相對論以及馬克士威的電磁學，都能正確地處理高速度的問題。

同時由一些實驗的結果發現牛頓的絕對時間和空間的觀念是有問題的；正確時空間的變換不是伽立略變換，而是羅倫茲變換(*Lorentz*

transformation ）。因此建立在伽立略變換上的牛頓力學並不是完全正確的。牛頓的運動定律是從觀察大物體的運動現象得到的，因此只有在質點的速度比光速小很多，並且質量很大時，才能適用。

由於實驗儀器的改進，使觀察與實驗的對象擴充到分子、原子，甚至原子核等的微觀結構。古典力學在這些部門的推論，已無法與實驗符合，因此量子論應運而生。

處理微小物體（如電子、原子等）的運動問題時，必須用量子力學；而用量子力學處理大物體的運動問題的結論與牛頓力學的推論是相同的。所以牛頓力學可以說是特殊相對論與量子力學的近似結論。

量子論的起源點，是來自黑體輻射（*black body radiation*）的問題，這可以說是統計力學與量子論連接之始。用量子力學來描述粒子所受的力，就是所謂的量子統計力學。在量子統計力學裏，其狀態（*state*）必須用到如波函數、量子數等參數來表示。而光電效應（*photoelectric effect*）與康卜頓效應（*Compton effect*）之產生更顯示出輻射的二象性（*duality*），而使量子力學向前邁進一步。

在原子物理方面，由原子的散射現象，才有湯木生和拉塞福（*Rutherford*）的原子模型。然而這兩種原子模型缺乏穩定性。波爾（*Niels Bohr*）基於量子假設，在黑體輻射與光電效應等問題的成功後，提出了一些假設和在這些假設下產生的波爾原子模型，結果解決了上述兩種原子模型穩定性的問題。雖然波爾的假設違背了古典的想法，可是它們不但解決了穩定性的問題，甚至對原子的光譜線有非常合乎實驗結果的計算，尤其是波爾的氫原子模型，在解釋氫原子光譜時，顯示非常成功。

關於原子結構問題的研究，也是促使量子論發展的一大動力。

核子物理所研究的乃是原子核的性質，以及有關其構造的模型與理論，和原子核反應等。我們知道原子由原子核和電子組成，原子的質量

幾乎全部集中於原子核的極小體積內。原子核內有質子和中子，質子的數目是爲元素的原子序。一元素可能有很多種不同的原子核，即其原子序相同而中子數不相同，這些原子核稱爲同位素。有關放射性和同位素的討論，也是屬於核子物理的範圍。

原子的分裂與撞擊是二十世紀中最顯赫、最燦爛的成就，其中當屬以人工方法撞擊穩定的原子核，而將它們改造成他種活潑的元素。原子核須用極大的能才能將它擊破，因此許多物理學家，致力於設法製造新儀器，使帶電粒子增加速度，用以撞擊原子核。

在粒子物理方面，有許多關於基本粒子（*elementary particle*）的問題到現在還沒有完全得到解決。因此，主要論及的是介紹基本粒子，注重其性質與分類，以及基本粒子之間的四種交互作用。粒子之間的重力作用實在太微弱了，而電磁交互作用在電磁學裏討論，但是對於微小距離而言，我們應該加入量子效應。強交互作用是核力的來源；而弱交互作用則表現於大多數衰變的過程中。高能物理就是從核力來源的探討中產生的。

人類在太空的研究，主要是集中在比較接近地球之太空，即磁力圈及行星際太空之研究。在早期，這些區域是被視爲眞空即毫無構造的空間，但是現在已經知道其中實在充滿了電漿（*plasma*）。電漿可以說是物質的第四態，它是由電子、離子及中性的質點所組成的氣體。由這些質點所構成的氣體，已經從它們的最初狀態改變了許多。探查電漿複雜性質的學科，稱爲電漿物理學。在所有的物理學各部門之中，與此種學科最有關係的是電學和磁學；它們均爲支持近代科學結構上的鋼樑。

從電漿的研究瞭解，提供了熱核子反應之穩定，幫助我們解決太陽系之起源及其演進，乃至銀河系之構造。

〔II〕物理學與其他科學的關係

(一)物理學和自然科學

物理學是自然科學之一，它的地位處於一切自然科學的基礎；其他的自然科學有化學、生物學、天文學和地質學、語言學等等。

數學的本身只是一個邏輯的結構，與自然現象無關，但是很顯然的，數學與物理的關係非常密切，它包括在物理學的每一分支裏，然而對於許多現象如熱的傳播等的物理探討，則會帶給應用數學許多新的方法。幾何學內，特別是非歐幾里得幾何，與相對論有著不可分離的關連。

化學和物理學的關係最密切。在研究分子結構，不同物質的電與光的性質，以及分子之間的互相轉變時，我們必須用到物理學的定律。而在有機化學中，*X*射線的應用，是研究有機化合物原子和分子間分類及其空間安排有很大貢獻的工具，而*X*射線是靠物理方法產生的；所以說，今日的物理學已經變成化學的領導部分。

一般而言，物理學和化學的分界線是太廣濶了，而且有些地方是相混的，例如原子核的衰變與放射，本來是在物理學範圍之內的，但是現在很多人卻把研究放射性同位素的學問歸併在化學範圍之內，而稱之為核化學(*Nuclear chemistry*)。

生物學所研究的對象，是有生命的物體，以及其生命所表現的現象。生命的基礎是原生質，在原生質內，含有非常複雜的分子，對於這些分子的研究，需要依靠物理和化學。另外有許多的生命的現象，如血液的循環，骨骼的支架，神經纖維的傳遞刺激，都是物理現象，而受物理定律的支配。

天文學本來是研究天體的原子組成和活動狀態的科學，可是現在漸漸地研究到星球、星雲、甚至整個宇宙的結構和其形成的過程，這樣就

和物理學分不開了。

地質學是研究地球的外殼與地球內部各種物質的分佈和形成原因，以及各種地質現象的表現，還有描述地震的震波，山脈與斷層的形成等等，都要用到物理學中的原理和定律去解釋。

語言學是一種研究語言的科學，其所研究的母音發音是與物理學有關連的，例如口腔與喉嚨的共振及一些類似問題的研究，都可以明顯的表示語言學與物理學的關係。

（二）物理學與應用科學

物理學和應用科學有很密切的關連。大體上說，應用科學包括有工程科學、農業科學與醫藥科學。工程科學可以說是物理學中許多原理的擴大與運用。例如土木工程導源於物理學中的力學；電機工程發展自物理學中的電磁學；機械工程藉助於力學與熱學；化學工程離不開熱學和物性學；而二十世紀末新出現的核子工程更完全是核子物理學發展的結果。

至於農田灌溉、農業機械所應用的仍然是力學和熱學原理，甚至農業肥料如固定氮肥的人工製造等都不能不藉助於電磁學。

在醫藥方面，我們用*X*射線探察病情，用放射線治療癌病，用顯微鏡研究細菌，甚至新藥的合成與製造，幾乎樣樣都離不開物理學。

總之，有了充實豐富的知識乃能發明、改進所需求的物質。物理學提供理論、原理與實驗的結果，而應用科學則回報以新的技術、新的工具乃至新的問題。而這些新的技術、工具、問題又促進了物理學的發展，這樣相輔相成，於是造成驚人的成就。因此我們可以說，現代物理研究的重心，已趨於理論與技術的結合。

〔III〕物理觀念的演進

嚴格地說，物理科學的建立，應始於伽立略。正如伽立略開創了實驗物理學的新紀元一樣，“場”的概念是牛頓時代以來最重要的發現。由此概念肯定了描述物理現象的重點不在電荷、質點或質量，而在電荷間與質點之空間中的“場”。馬克士威就是第一位受惠於此概念的人。

相對論也是從“場”的問題產生的，舊有理論的不穩，使愛因斯坦與明可士基（*Minkowski*）重新給一切物理現象鑄造了一個新的舞臺——“時-空連續區”。

對“能”予以重新估價，並注意於大、小宇宙的深切體會，是近代物理的主要特徵之一。由相對論、量子論到光量子論以及波爾的原子模型理論及波動力學等都可說明此點。

科學不是玄想出來的體系，不是許多互不相關的事實之雜陳，也不是許多法則的彙集，而是人類自由發明與發表的意念，在客觀世界中的一種努力與創造。物理學的理論，是想在構成一幅“實在”的寫生畫的過程中，把“印象”與“世界”連繫起來，在物理學家心目中的“實在”並非一成不變的。

原始的物理觀念，是以經驗爲基礎，以感覺、印象爲前導的條件下，所創獲的個人心得。古典物理學的觀念，是在“有測定性的觀念”支配下，於歐幾里得空間，獲致實驗成果。近代物理學的觀念，則是以豐富的想像力，在非歐幾何空間，所創造的新觀念，但它在精神上，仍受制於“有測定性的觀念”之下，亦即承認“因果律”的權威。

總括之，物理觀念隨著時代而變革，而物理學就在物理觀念的變革中向前躍進。

〔Ⅳ〕研究物理學的要求

物理學既然是自然科學之一，任何理論或描述，當然不能和自然界的現象相衝突，所以各種理論的建立，都必須經過多方面觀察及實驗的證實。

研究物理學的目標，就是要從已知的物理現象去推出簡單而普遍的原理，並且更進一步利用這些原理去預測以前沒有觀察到的結果。一般的物理現象雖然複雜，但是許多物質都可以直接度量。由這些性質可以推衍出更廣濶的觀念，經過綜合歸納而得到一些比較簡單的條理，便是所謂的定律（*law*）。從相關的定律，可作一個模型，然後提出種種假設，將它們納入更簡單的幾條原則內，這就是理論（*theory*）。如果理論能夠符合所有的考驗，便爲大家所接受，否則必須加以修正，甚至完全拋棄。

物理學上的一切定律都應該可以用實驗證實，凡不能直接或間接證實出來的理論，就不容許在物理學中存在。學習物理學的目的，並不一定是立志要成爲一個物理學家，而是要從物理學中學到有關宇宙的許多知識；除了認識自然的規律以外，更主要的是要把物理學中的原理應用到生產建設而爲人類謀幸福，因此我們所需要的是實驗結果而不是空洞的理論。

物理學的研究，是必須作成“考察、觀察、實驗的經驗，歸納成定律，演繹這定律以推論未知事項”的頭腦，而這“觀察”、“實驗”、“歸納”、“推論”是物理學研究的四大利器。

〔V〕物理學的展望

近代物理學研討的對象，已由一般人的生活周遭進向太空與原子核兩方向擴展，而形成鑽研大、小宇宙的兩股熱流。在對大宇宙的探測方向，由人造衞星、太空船的更番發射，深入太空巡行及人類多次在月球登陸成功，已爲人類親往觀測其他星球闢出坦途。

在對小宇宙的探測方面，由於近年來用大型設備作集體研究的結果，在基本粒子方面於電子、核子、介子和微中子等作深入觀察、實驗後，又在正電子、反質子、反中子以及極子、反極子等方面迭有創獲。

目前研究者的觸鬚不但深入了太空和原子核，甚至探索到生物體結構的奧妙。因此可知，物理學正在迅速地成長，正如興建中的大廈，其中部分知識已屬完整，且經過廣泛的應用；而另一部分僅具雛型，尙待進一步的探究。現在人類正面臨嶄新的境界，而新的境界正爲人類創造更多更新的工作。物理學蓬勃地發展，在人類史上實具有重大的意義。

物 理 大 辭 典

總 目 次

第 一 册 目 次

物理大辭典

一　畫

二　畫

三 畫

四　　畫

一　畫

【一大氣壓】(One atmospheric pressure)

每平方厘米面積的大氣壓力爲 1,033.6 克重，定爲大氣壓的單位，叫做一大氣壓。任意點之大氣壓力，其值等於從該點到大氣頂點在單位截面積上的空氣柱重量，故大氣壓力隨高度增加而減低。因大氣並非靜止，故大氣壓力每天均有變化。氣壓計中之水銀柱高度隨大氣壓力而變，在海平面約爲 76 厘米高。在標準重力下，即 $g = 32.174$ 呎/秒^2 $= 980.665$ 厘米/秒^2，$0°C$ 時高 76 厘米的水銀柱所施之壓力，謂之一大氣壓（ $1\ atm$ ）。在此溫度時水銀的密度爲 13.5950 克/厘米^3。因此，一大氣壓等於

$$1\ atm = (13.5950\text{克/厘米}^3)(980.665\text{厘米/秒}^2)(76.00\text{厘米})$$
$$= 1.013 \times 10^5\text{牛頓/米}^2$$
$$= 2,116\text{磅/呎}^2$$
$$= 14.70\text{磅/吋}^2$$

壓力常以 $0°C$ 時在標準重力下的水銀柱高度表之，即是“厘米水銀柱（ *cm-Hg* ）”或“吋水銀柱（ *in-Hg* ）”表示法的來源。壓力是力與面積的比，其單位不是長度。普通計算時水銀密度以 13.6 克/厘米^3 計，故一大氣壓亦可爲 13.6 克/厘米^3 × 76 厘米 = 1,033.6 克/厘米^2，即每平方厘米 1,033.6 克重之壓力。

【一次放射】(Primary emission)

產生一次電子之放射作用。

【一次電子】(Primary electron)

二次放射（ *secondary emission* ）中，用以撞擊金屬表面，產生二次電子放射之電子。

參閱"二次電子（ *Secondary electron* ）"條。

【一級反應器】（ Primary reactor ）

又稱爲初級反應器。

吾人希望在原子反應器中，無論是天然鈾或其同位素，其原子皆有1％以上可以完成分裂（ *fission* ），此量雖少，然較諸鈾組成中分裂性同位素鈾－235之量已甚多矣。故須以一部分未作用於鏈鎖反應之分裂所生成之中子撞擊鈾－238使之生成鈽，再用此鈽在分裂過程中消費之。欲將鈾完全利用，則只有使用滋生反應器（ *breeder reactor* ），使滋生物料（ *breeder material* ），例如鈾－238再生成更多未消費的分裂物料。此類反應器一般情形均不含緩速劑，即謂鏈鎖反應在此乃由快中子作用者。顯然在此場合反應器用鈽做爲分裂物料，鈾－238做爲滋生物料。在熱中子反應器中，分裂物料－滋生物料的耦合（ *fissionable material-breeder material coupling* ），即鈾－233－釷－232或亦可能有滋生作用。雖然此等滋生反應器要求一豐富分裂物料之燃料，但吾人從來只想像由熱中子反應器激勵之燃料單元中，始可萃取此種濃縮的分裂物料，此所以具有緩速劑之反應器，往往稱爲一級反應器，而滋生反應器稱爲二級反應器（ *secondary reactor* ）。

【一致性】（ Coherence ）

爲物理性質之一。如在波動中，諸波源以同一頻率，並維持一定相差振盪，則稱如此之諸波源爲一致性者。而若諸波源頻率不同，或其相差因時間而不規律地變更時，則諸波源稱爲非一致性者（ *incoherent* ）。

【一維運動】（ One dimensional motion ）

一維運動即爲沿一度空間的軌跡（不論是否爲直線）的運動。

【一點調諧】（ One-spot tuning ）

接收一發射臺信號，在超外差接收機之度盤上，只得一點之調諧。

【乙電池組】（ B-battery ）

普通稱供高壓用之直流電源爲乙電池組，而伏特數較低者爲甲電池組。亦有稱供電子管屏極電源用之電池爲乙電池組；供陰極電源用者爲甲電池組。

【乙電源】(B-supply)

電子管的屏極電源。一般均以$B+$表示之。

二　　畫

【七極混頻管】(Heptode-mixer tube)

利用七極管，將接收信號與本機產生的信號混合，檢出差頻的電子管。

【七極管】(Heptode)

爲多極管之一種。除屏極、陰極外，另有五個柵極 (*five grids*)。因其爲具有五個柵極之電子管，故亦稱爲五柵管 (*pentagrid tube*)；常用於超外差式接收機中，擔任變頻器 (*frequency converter*) 或混頻管 (*mixer*)。

【二力之平衡】(Equilibrium of two forces)

對一個物體施以二力而此二力在一直線上作用，其大小相同，方向相反時，謂此二力平衡。

拔河、推棒 (兩個人用一根棒互相對推) 當繩或棒不動時，即爲繩子或棒在二力平衡的狀態中。

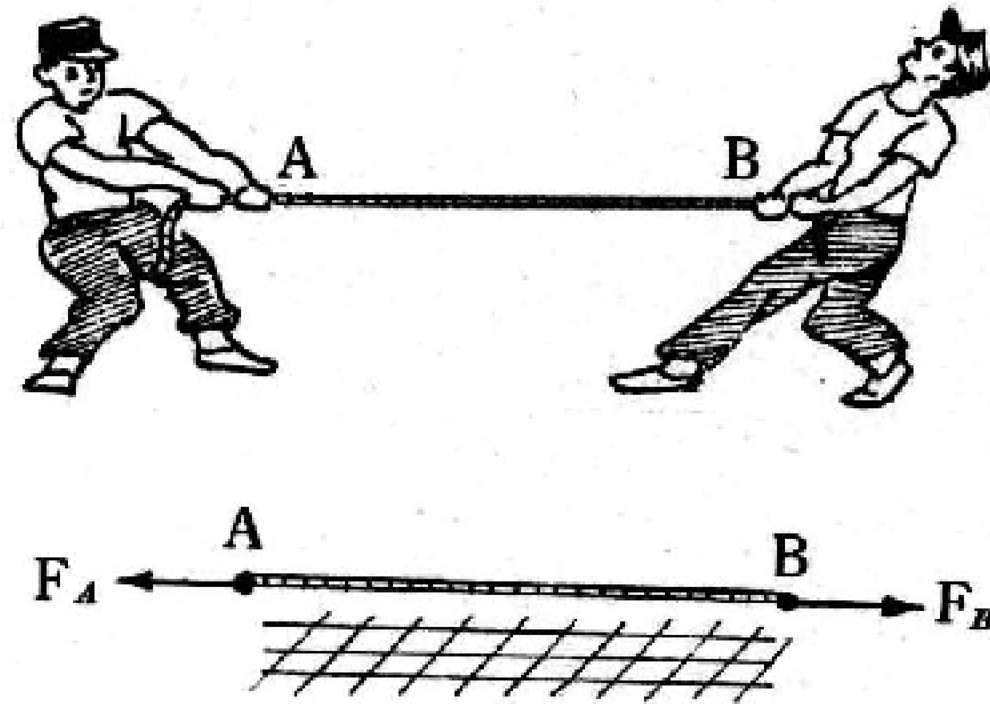


圖 2 — 1

圖 2 — 2

如圖 2 — 1，*A*、*B* 兩人施力的大小相等，方向相反，此二力便平衡。又如圖 2 — 2，用繩子吊的錘不動時，作用於錘的二力，有把錘向下拉的地心引力 (重力) 與繩子往上拉的力 (張力)，此二力平衡。

【二力之合成】(Composition of two forces)

二力同時作用於一點時，其所發生之效應；若以一單力代之，亦能發生相同的效應，則此一單力，稱爲二力之合成。

【二分之一波片】(Half-wave plate)

它使光之偏振轉一個直角，但仍是線偏振。

一個二分之一波片的晶體，能使一個與它光軸成 45° 線偏振的光線在經過它之後，偏振轉了 90° 角。這個結果很容易由實驗去證實，我們可以由圖 2—3 的安排看出。

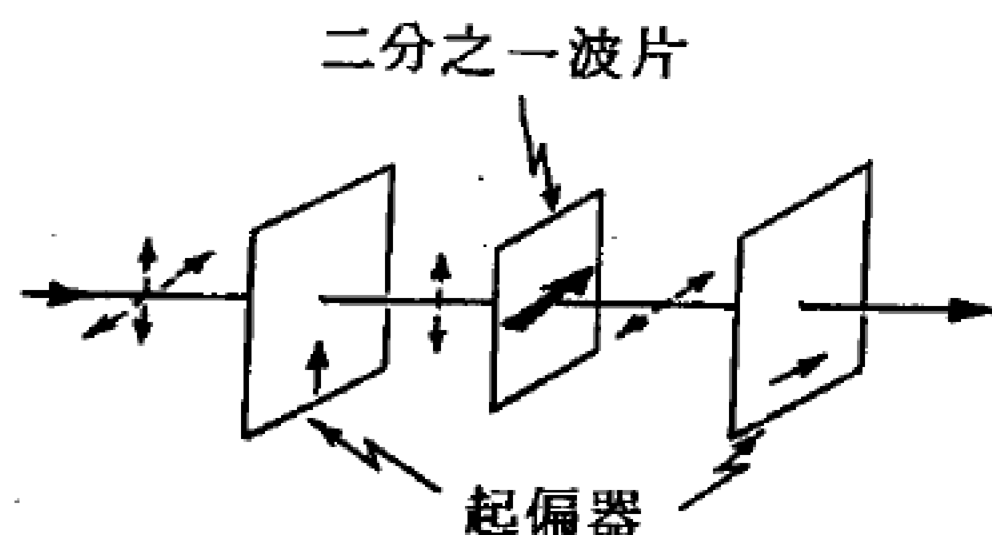


圖 2 — 3
二分之一波片的性質，其中電磁波的電場是以虛線表示出來，起偏器和這晶體片的光軸以實線箭頭表示，入射光是非偏振光。

有一點值得注意的是所謂二分之一波片只是對某一個頻率的光才會是二分之一，對於別的光線就不見得了，因爲折射率是與光的頻率有關係的。所以，如果入射的光線是白光的話，那麼，能夠通過我們上述的安排的也只是剛好適合那二分之一波片的頻率的光線。

【二分核分裂】(Binary fission)

放射性元素的原子核分裂成二碎片，其質量大約相等的分裂反應。重元素在二分核分裂時釋出能量在 120 至 240 *MeV* 之間。重元素雖然都是不穩定的二分裂元素，但存在自然界間的重元素具有這種型式的自然分裂率非常小。

【二向色性】(Dichroism)

爲某些物質所具有的一種特性。這些物質只容許在某平面上振動的光波通過，稱爲平面偏振光，如圖 2 — 4 。

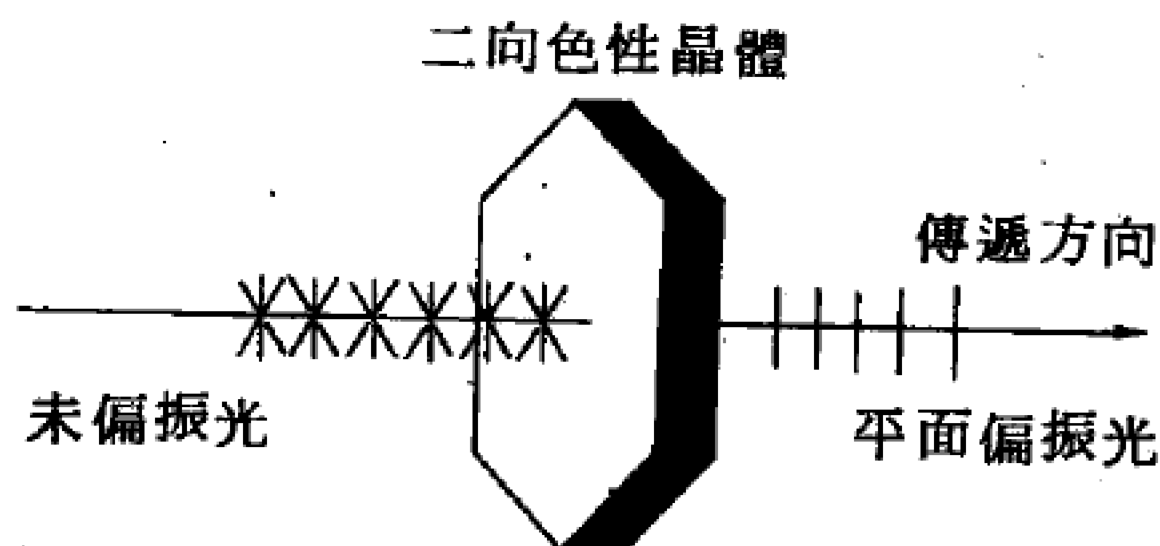


圖 2 — 4

二向色性係因物質的

吸收係數 (*absorption coefficient*) 不同所致，故其二向色性可視電磁波之頻率而定，且一物質在某頻率所顯示之現象比在其他頻率時爲顯著。當光線透過此種物質後，由於平面偏振的效應，致使透射光與反射光呈現不同的顏色。

於可見範圍的天然晶體中，有兩種重要之二向色性物質，其一爲電石 (硼矽酸鋁)，可吸收普通射線；另一爲碘硫酸奎寧 (*sulfate of iodoquinine*)，其不便處爲它的晶體非常脆弱，因而不易保持適當之大小。

現有一種人造偏振片 (*polaroid*)，是於兩透明板間，夾一細小薄層互相平行之二向色性晶體。這種方法造成的物質在縱向及橫向之性質相差很多，且有較大的面積。

【二次曲面】(Quadric surface)

方程式爲 $Ax^2 + By^2 + Cz^2 + 2Fyz + 2Gxz + 2Hxy + 2Px + 2Qy + 2Rz + D = 0$ 之曲面。

【二次放射】(Secondary emission)

當一個電子以足夠大的速度撞擊某一物體的表面時，可以從該表面內擊出一個或數個“二次”電子。這種現象就是二次放射。二次電子的數目決定於一次電子的速度、數目及被擊表面的性質，如果被撞擊的是經過相當加工的金屬表面，則一個電子可能擊出好幾個 (5～6個或更多一些) 二次電子。二次放射現象以這種形式在所謂電子倍加器內得到了甚爲重要的實際應用。在一般的電子管內，當電極上 (最常見的是屏極上) 的正電壓足夠高時，從陰極釋出的電子受吸引，大力撞擊此正電極，也會發生二次放射，在這種情況下，二次發射的作用是無益的。

【二次電子】(Secondary electron)

當高速電子打到金屬表面後，則將其所帶的動能，傳給金屬中的原子或分子，甚至於直接擊中金屬表面的電子，使其逸出金屬表面，這正

與兩個撞球相撞擊同。這種被高速電子擊中，而脫離金屬表面的電子稱爲二次電子。因此在二次電子放射之前，即先有一放射一次電子的射極存在。如從陰極釋出的電子，受屏極的吸引，大力撞擊屏極，屏極有電子反射出來，反射出來的電子稱二次電子，從陰極釋出之電子稱一次電子（*primary electron*），而其放射稱一次放射（*primary emission*）。

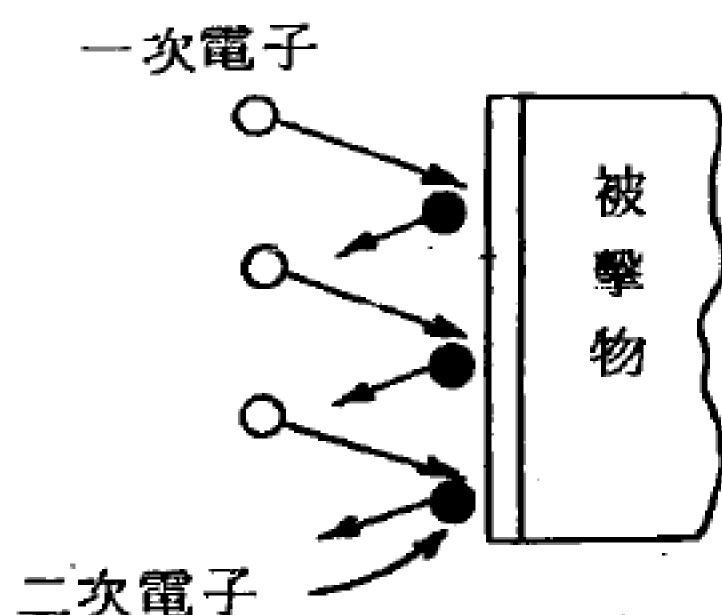


圖2—5

【二次電池】（Secondary cell）

可以再充電的蓄電池如圖2—6所示。

因乾電池僅能供給少量功率，且在電能用罄後，並不能再行充電。而由二次電池組成的蓄電池在短時間內能供大量功率，電能用罄後並能再充。這類電池比乾電池需要更多的維護與照應，但在短時間內需用大電量的設備，常採用此種電池。

作蓄電池用的二次電池爲鉛一酸式。在這類電池裏，電解液是用硫酸，正極板爲氧化鉛，負極板爲鉛，在電池放電期間，硫酸漸漸變稀，兩塊極板由於化學作用變成硫酸鉛。

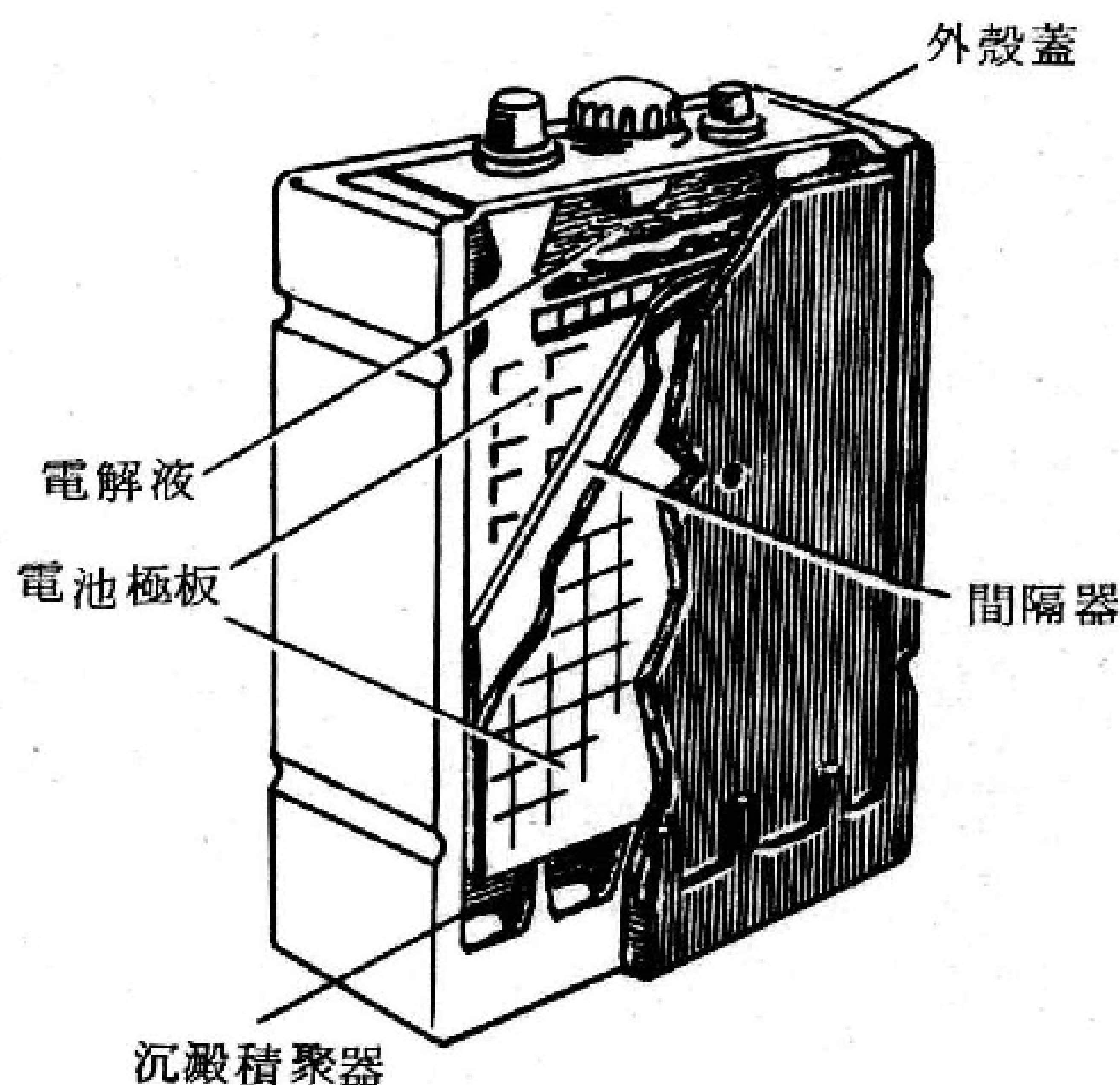


圖2—6　鉛酸二次電池

這類鉛一酸式電池的外殼是用硬橡皮或玻璃做成，可防止酸的腐蝕而洩漏。電池的底部有空隙作積聚沉澱物之用。外殼的頂部可以打開，同時亦作支持極板的架子。

由於活性材料不夠堅硬，無法單獨安裝，必須用不易起化學作用的金屬作成特種柵架支持它們。爲了能夠產生最多的化學反應，極板的面積須很大，每片正極板須安裝在兩片負極板之間。在一個標準的電池裏，有七片正極板連接在一個公共架子上，另外有八片負極板連在另一架上，它們相互地交叉安裝。片與片間用木材或有孔的玻璃做成間隔器，俾使正、負極板相互隔開，但對電解液仍能通過。

正極板和負極板都固定在電池的外蓋上，外蓋和外殼用一種防酸的焦油黏合起來，蓋上留一孔，作爲加水之用，當電解液中的水份蒸發後，可加水補充，使它保持適當濃度。加水孔上有一蓋子，蓋上有一通氣小孔，當電池工作時，正極板附近有氣體產生，可經通氣小孔而逸出。

由於這種電池可以供給大電流，它們的接頭和接線需要粗大；常用鉛條做成，如用其他金屬則易被酸性的電解液所腐蝕。

【二次輻射】(Secondary radiation)

由初輻射(*primary radiation*) 如 α 、β 射線等之作用，而引起的輻射。

【二相發電機】(Two phase dynamo)

電樞上繞有互相垂直的兩組線圈，則一發電機同時可有兩種電動勢。

【二相電流】(Two phase current)

兩電流輸出，其相位差爲 180 度角。

【二柵管】(Double grid tube)

指四極管而言，因不論簾柵管或空間電荷柵式的四極管都是具備兩個柵極的。

【二重態】(Doublet)

原子發射的能譜，有相距甚近的兩條譜線，即其能階可以分成相近的兩階，對應於原子的角動量向量(自旋及軌角動量)的兩個可能方向。凡原子只有一個外層電子者(例如鹼金屬原子)才能產生純二重態譜線，外層電子超過一個且爲奇數的所有原子呈現混有高階的二重態結構。鹼金屬之有二重態結構係因自旋軌道交互作用將能階劈裂爲二之故。劈裂所生二能階的頻率(厘米$^{-1}$)間隔稱爲二重態間隔(*doublet interval*)，此間隔與對應能階之主量子數的立方成反比之變化。

下表列示鹼金屬原子的能態，軌角動量爲零($l=0$)的S態不致劈裂，成爲獨態，其餘均爲二重態。

態別	l	s	j	能　階
S	0	$+1/2$	$+1/2$	獨　態
P	1	$\pm 1/2$	$1/2$，$3/2$	二重態
D	2	$\pm 1/2$	$3/2$，$5/2$	二重態
F	3	$\pm 1/2$	$5/2$，$7/2$	二重態

【二原子中心的平均距離】(Atomic distance)

二原子間的距離，以二原子核中心的距離爲度。

【二級反應器】(Secondary reactor)

參閱“一級反應器(*Primary reactor*)”條。

【二現象接合器】(Electronic switch)

使單電子槍示波器與二現象示波器同樣使用的附屬裝置。可供(1)線圈或電容器內電壓與電流相差的直接比較。(2)整流或濾波廻路的電壓變化與供應電壓的直接比較。(3)三極管輸入電壓與輸出電壓的直接比較，以便直視放大作用。(4)其他同時發生的電壓變化比較等，其應用範圍很廣。

【二項式分佈】(Binomial distribution)

在一連串的N次試驗中，假若每次試驗成功的機率均爲p，則在此試驗中有r次成功的機率爲

$$P(r)=\frac{N!}{r!(N-r)!}p^r(1-p)^{N-r}$$

此機率分佈式可由二項式展開式

$$1=[p+(1-p)]^N$$
$$=\sum_{r=0}^{N}\frac{N!}{r!(N-r)!}p^r(1-p)^{N-r}$$

得來，故稱二項式分佈。由上式得知所有可能之機率和$\sum_{r=0}^{N}p(r)$爲1。

設每一試驗中有M種不同之機率p_i，$i=1,2,\cdots\cdots M$，$\sum_{i=1}^{M}p_i=1$。又設n_i，$i=1,2,\cdots\cdots M$，$(N=\sum_{i=1}^{M}n_i)$，爲第i個機率成功之次數，則此試驗的機率爲

$$P(n_1,\cdots n_M)=\frac{N!}{n_1!n_2!\cdots n_M!}p_1^{n_1}p_2^{n_2}\cdots p_M^{n_M}$$

此機率乃是多項式的展開項

$$1=(p_1+p_2+\cdots+p_M)^N$$
$$=\sum_{n_1,n_2\cdots n_M}\frac{N!}{n_1!n_2!\cdots n_M!}p_1^{n_1}p_2^{n_2}\cdots p_M^{n_M}$$

此機率爲馬克士威、波茲曼統計的分佈式。N爲一系統中分子的總數，M爲每一分子的能態數目。一分子在第i個能態的機率爲p_i，n_i爲第i個能態中的分子數目。

【二項式定理】(Binomial theorem)

即$(x+y)^n=x^n+nx^{n-1}y+\frac{n(n-1)}{2!}x^{n-2}y^2+\cdots\cdots+y^n$

第 $k+1$ 項爲 $\binom{n}{k} x^{n-k} y^k$ 其中 $\binom{n}{k}$ 爲二項式係數。

【二項式係數】(Binomial coefficient)

參閱"二項式定理(*Binomial theorem*)"條。

【二象性】(Duality；Dual property)

德布洛利(*De Broglie*) 認爲不只是光，電磁輻射亦具有量子與波動雙重性，所有的東西均具此種性質；也就是說：電子、中子、質子、原子等粒子均有對應之物質波存在。此物質波的頻率爲

$$\nu = \frac{E}{h}$$

而波長 $\lambda = \frac{h}{P}$

其中 E 爲總能量

h 爲浦朗克常數(6.62×10^{-27} 爾格秒)

P 爲動量(mv)

二象性爲物理界一項很基本的性質。

【二進位數系】(Binary number system)

二進位數字系統是在十七世紀由德國數學家萊伯尼茲(*Gottfried Wilhelm von Leibnitz*) 所提出的，他僅用 0 、 1 兩個數字符號來表示每一個數字，其中以 0 表示虛無(*void*)，以 1 表示存在(*deity*)。

近十年來，二進位數系已衆所皆知，今天的數字電子計算機就是利用二進位數字系統造成的，而未來的電子計算機無疑的仍將採用這種方式。

早期的電子計算機的基本元件是繼電器和開關，一個繼電器或開關的運用即是自然中最基本的二進制的性質；當開關是閉上的用 1 表示，

開路用 0 表示。今天的電子計算機的主要電路元件是電晶體，考慮到可靠性，因此設計人員在製造這些機件時要求只能有二種狀態，即導電（1）或不導電（0）。此類電路如同電燈一樣，在任何時間裏電燈只有二種狀態，即亮（導電）或不亮（不導電）。

十進制	二進制	十進制	二進制
1	1	11	1011
2	10	12	1100
3	11	13	1101
4	100	14	1110
5	101	15	1111
6	110	16	10000
7	111	17	10001
8	1000	18	10010
9	1001	19	10011
10	1010	20	10100

十進制與二進制的換算：

$125_{(10)} = 1111101_{(2)}$

∵ 2 | 125
2 | 62 …………餘 1 …………(1)
2 | 31 …………餘 0 …………(2)
2 | 15 …………餘 1 …………(3)
2 | 7 …………餘 1 …………(4)
2 | 3 …………餘 1 …………(5)
1 …………餘 1 …………(6)
…………………………………(7)

$$\therefore 125_{(10)} = 1\times2^6+1\times2^5+1\times2^4+1\times2^3+1\times2^2+0\times2^1+1\times2^0$$
$$= 1111101_{(2)}$$

$$101_{(2)} = 1\times2^2+0\times2^1+1\times2^0$$
$$= 4+0+1 = 5_{(10)}$$

【二極五極管】(Diode-pentode)

在一個管泡中，裝有二極、五極各一個的複合管。

【二極電晶體】(Diode transistor)

簡稱爲二極體，是最簡單的電晶體，例如正負型（*P-N*型）二極體是由一層*P*型鍺和一層*N*型鍺接合而成的。在接合處，*N*型鍺中的自由電子爲*P*型鍺中因獲取一個電子而帶負電的鋁原子所排斥，而向下遠離接合面；*P*型鍺中的正"洞"則爲*N*型鍺中因放出一個自由電子而帶正電的砷原子所推拒，而向上遠離接合面。在此狀態下，接合面附近兩旁沒有可以導電的自由電子或"洞"。若把二極體的兩端分別接到電池的正負極，即把*P*型鍺的一端接上正極，*N*型鍺的一端接上負極；則電池的電壓就迫使電子和洞分別向接合面移動，而在此處正負相消湮滅；於是電池的正極再使上面的*P*型鍺產生"洞"，負極對下面的*N*型鍺再供應電子，電路遂成通路而產生電流。如果把電池正負極反接，電池將不會迫使"洞"和電子分別移向接合面，電路只有沒有作用的微弱電流，

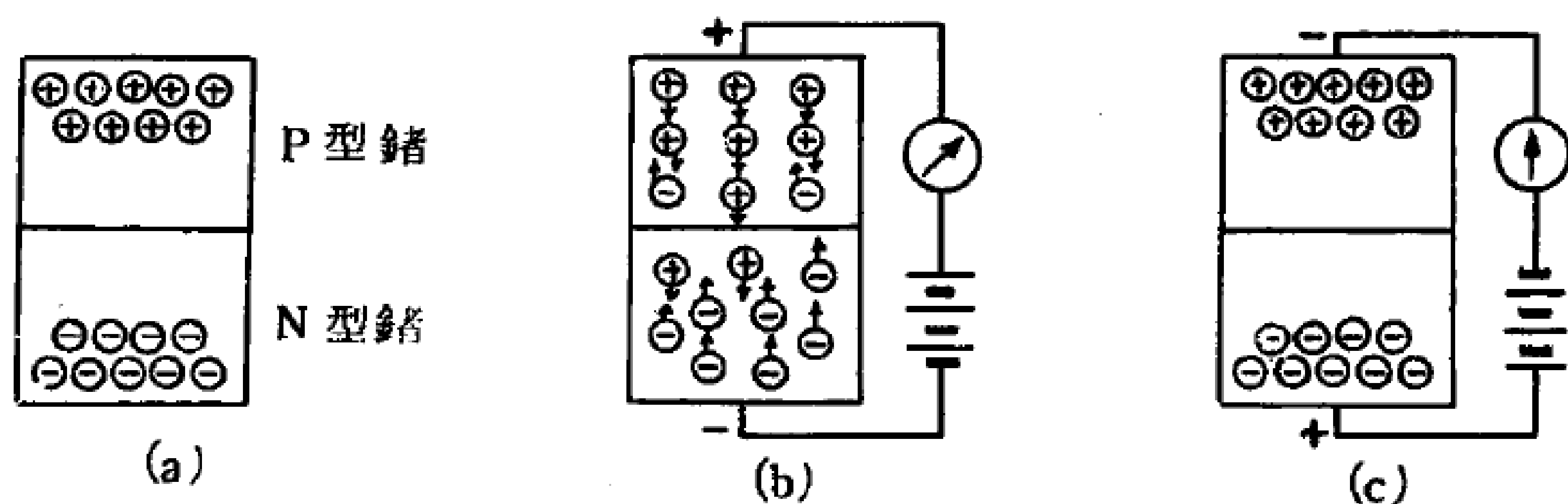


圖 2 — 7

相當於電路中有很大的電阻。如圖2—7所示。

所以二極體有單向導電性，即有和二極眞空管相似的整流作用。

【二極管】(Diode)

一種有兩個電極的裝置，一為陰極；一為屏極。當通過電流的方向不同時，電壓隨電流變化的方式亦不相同，這是二極管的特徵。

二極管有眞空管式和半導體式二種，另外還有含氣二極管。眞空管式的二極管包含一個由加熱發射電子的陰極，和用以收集電子的屏極。因為電子帶負電，當屏極電壓較陰極為正時，電子受到吸引而大量朝屏極行進；反之，屏極電壓比陰極為負時，則電子受到斥力而使電流幾乎不能通過。於是"電流－電壓"曲線如圖2—8所示有不對稱性。因此，若交流電壓加於二極管兩端時，只有使屏極為正的半個週期內有電流通過，這便是二極管的整流作用。二極管有時還稱為整流管，原因即在此。

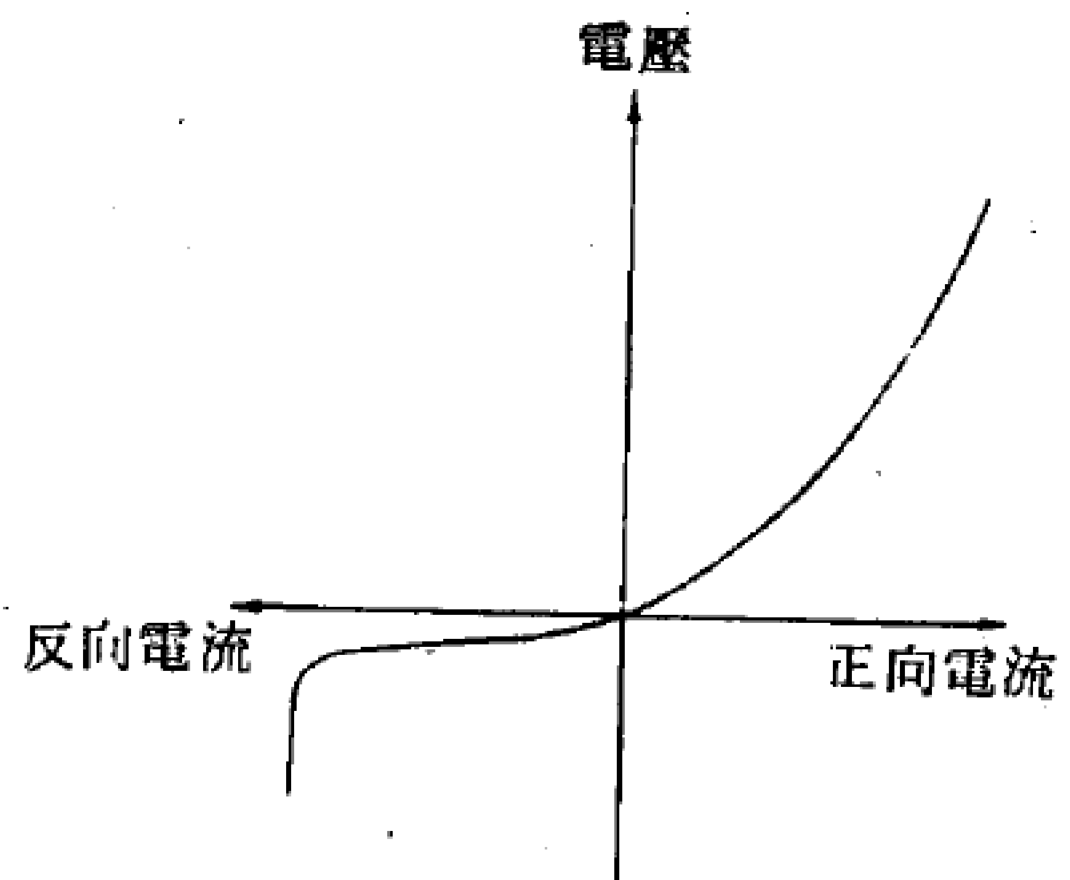


圖2—8　二極管的標準性質

半導體式的二極管包含一半導體材料（鍺或矽）為一極，一端接上鬚狀細導線作為另一極。由於它的電容極低，可以用作整流等用途，稱為晶體二極管。

另一種半導體二極管是接合二極管（*junction diode*），是利用"*N*型"和"*P*型"的半導體材料相接合而產生電流的不對稱性。含氣二極管是利用所充氣體或蒸汽的氣壓造成整流的特性。

金屬二極管首先由法拉第發現硫化銀（*silver sulfide*）具有負溫度係數後，金屬二極管在無線電工作中對於整流或檢波用途非常普遍。其所用的材料包括方鉛礦（*galena*）、矽鐵、黃鐵礦（*pyrite*）、

鋅及銅等，通常這些材料爲整流器之基座，另以金屬貓鬚針接觸爲二極管的屏極。

其缺點是金屬接觸點的靈敏度（*sensitivity*）容易受電流過荷熱效應改變貓鬚針的接觸位置。

1920 年由於眞空二極管發展具有更穩定的特性而取代金屬二極管。1948 年矽與鍺半導體二極管的研究成功，眞空二極管亦逐漸走上與金屬整流器同樣的命運。

由於半導體發展迅速，現在所有之整流器，幾乎完全由金屬半導體二極管、半導體二極管、*SCR* 半導體等所代替。金屬半導體二極管在結構上多數爲點接觸型（*point contact type*），半導體二極管爲 *PN* 接合型（*junction type*），其符號如圖2—9表之。

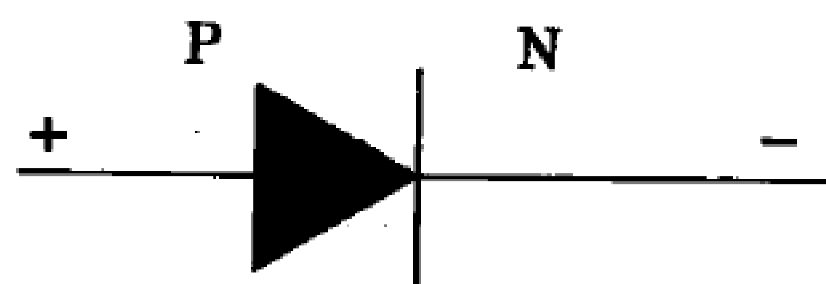


圖2—9　二極管（體）符號

【二極管檢波】（Diode detection）

利用二極電子管（即二極管）來進行的檢波。二極管之所以能具有檢波所必需的不對稱導電性，是因爲電子只能從熱的陰極飛出，而不能從冷的屏極飛出，即是說在二極管的外電路裏，電流只能從陰極流到屏極。故若在二極管上加以交變電壓，則在其電路內將有脈動電流流動，並能發生檢波。在二極管電路內串聯的電阻 *R* 上將分離出來直流電壓和按輸入振盪的幅度變化規律而變化的交流電壓。電阻 *R* 上不大的旁路電容 *C* 給輸入振盪開闢了通路，使其直接走向二極管的陰極（這便消除了高頻電壓在電阻上的電壓降）。二極管檢波器的失眞很小，不過靈敏度比較低，所以只有在輸入信號電壓足夠大時才能採用。由於這個緣故，二極管檢波器主要是用在超外差式接收機內對中頻進行檢波，或用在某些專門線路裏（如延遲自動靈敏度控制線路）。

用來檢波的二極管通常做得很小，以提高靈敏度及減少寄生電容。

二極管還常常與其他電子管合裝在一個管子裏面（用一個公共陰極）。例如有雙二極管，用來檢波及作自動增益控制，或作推挽式檢波；有雙二極三極管，用來檢波和放大等等。

【二極整流管】（Kenotron）

是一種高度眞空的二極管，能將交流電整流。在二極整流管內，和在任何電子管內一樣，電子在管子裏面只能從陰極走向屛極，即管內電流只能沿一個方向流動。在二極整流管內，常常安裝兩個屛極，這樣就可能在一個二極整流管內獲得全波整流。由於需要從整流器獲得的電流大小不同，二極整流管具有各種不同的型式和構造。此種二極整流管適用於數百伏的電壓與數百毫安的電流。在電視接收機內，爲了供給電子射線管的電源，採用專門的二極整流管，該種管子適用於很高的電壓和不大的電流。

【二維碰撞】（Two dimensional impact）

即二度空間之碰撞，僅考慮平面上碰撞情形。而在二維或三維空間之碰撞（除完全非彈性碰撞外），僅用守恆原理，無法由碰撞前的運動求得碰撞後的運動。例如最簡單的二維彈性碰撞有四未知量，即碰撞後每一質點速度的二分量；但是相互之間僅有三已知關係，一爲能量守恆，餘爲二維空間中每維之動量守恆關係。因此除初具條件外，需要更多資料。如不知相互間之作用力，另外之資料應由實驗求得，最簡者爲決定一碰撞質點的反彈角度。

考慮一質點射向一靜止靶質點；此情形並非限於眞正靜止，常可選一參考系，令靶質點於碰撞前爲靜止。核子物理中的許多實驗，都是將原子核粒子射向在實驗室參考系中爲靜止之靶。在這種碰撞中，因動量守恆，運動在相碰質點之反彈線所決定的面上。碰撞前二質點之運動不必沿兩質點的中心連線。作用力可爲電磁力、重力或核力。質點不必“接觸”，在近距離和短時間內作用之強力，使質點偏出原路線。

圖 2 — 10 所示為一範例。碰撞前之運動路線與通過靶質點中心所畫和此線平行之線間的距離 b，叫做撞擊參數。以此度量碰撞之正斜程度（*directness*），$b = 0$ 相當於正向碰撞。碰撞後入射質點 m_1 的運動方向與原來方向的夾角為 θ_1；靶質點 m_2 原為靜止，碰撞後之運動方向與入射質點之原來方向夾角為 θ_2。應用動量守恆之向量關係，可得二純量方程式；在 x 方向運動的分量為

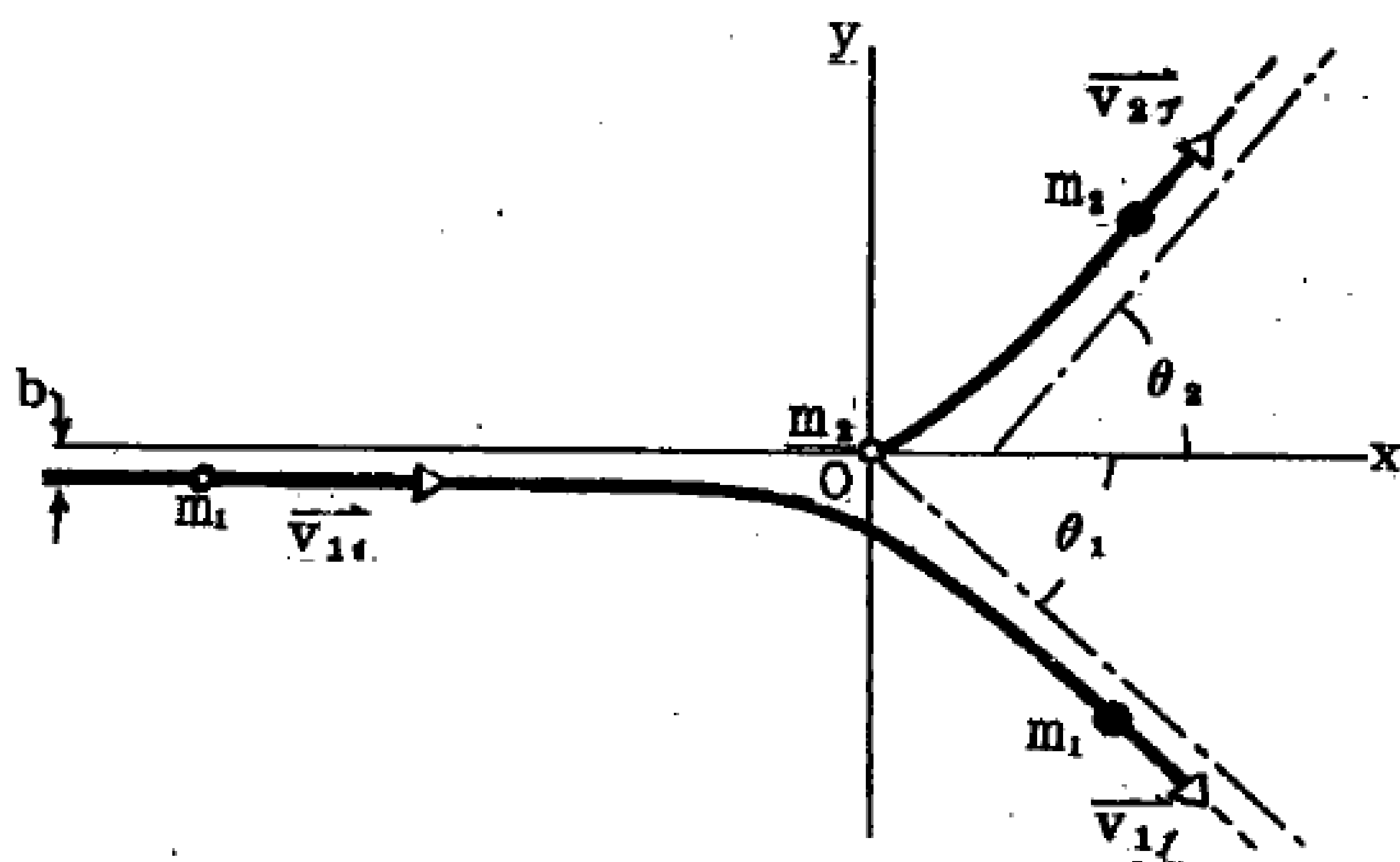


圖 2 — 10
m_1 和 m_2 二質點發生碰撞。圓圈表示碰撞前之位置，圓點表示碰撞後之位置。m_2 原為靜止，撞擊參數 b 是與正向碰撞所差之距離。

$$m_1\overrightarrow{v_{1i}} = m_1\overrightarrow{v_{1f}}\cos\theta_1 + m_2\overrightarrow{v_{2f}}\cos\theta_2$$

及在 y 的分量為

$$0 = m_1\overrightarrow{v_{1f}}\sin\theta_1 - m_2\overrightarrow{v_{2f}}\sin\theta_2$$

設為彈性碰撞，動能守恆成立，可得第三個方程式

$$\frac{1}{2}m_1\overrightarrow{v_{1i}}^2 = \frac{1}{2}m_1\overrightarrow{v_{1f}}^2 + \frac{1}{2}m_2\overrightarrow{v_{2f}}^2$$

若知初具條件（m_1、m_2 及 $\overrightarrow{v_{1i}}$），尚有四未知數（$\overrightarrow{v_{1f}}$、$\overrightarrow{v_{2f}}$、θ_1 及 θ_2），僅有三個互相關聯之方程式。故需再定出一未知數之值如 θ_1，才能求得碰撞後之運動。

參閱“碰撞（*Impact*）”條。

【二節火箭】（**Two-stage rocket**）

由二節火箭組合而成之分級火箭（*step rocket*）。

參閱“火箭分級（*Rocket stage*）”條。

【二衝程引擎】（Two stroke engine）

每衝程兩次作功一次的引擎，如圖2－11 所示。此種引擎的氣缸，其活塞較長，氣缸上裝有排氣口（*exhaust port*），後者在衝程中大部分時間是用活塞關閉起來的，只在衝程的端點（廢氣排出的當口）才會打開。燃燒後的廢氣壓力很大，故可以很高的速率被壓縮空氣從氣缸中排除淨盡。排氣口之再度關閉，是藉活塞的返回動作完成的。排氣口再關閉前的瞬間，新的混合氣體已被特別設計的抽氣裝置打進氣缸之中，立即被活塞壓縮，並在靜點（*dead center*）點燃。事實上由於爆炸過程之時間不是無限小，點燃多半是在靜點稍前實行的。

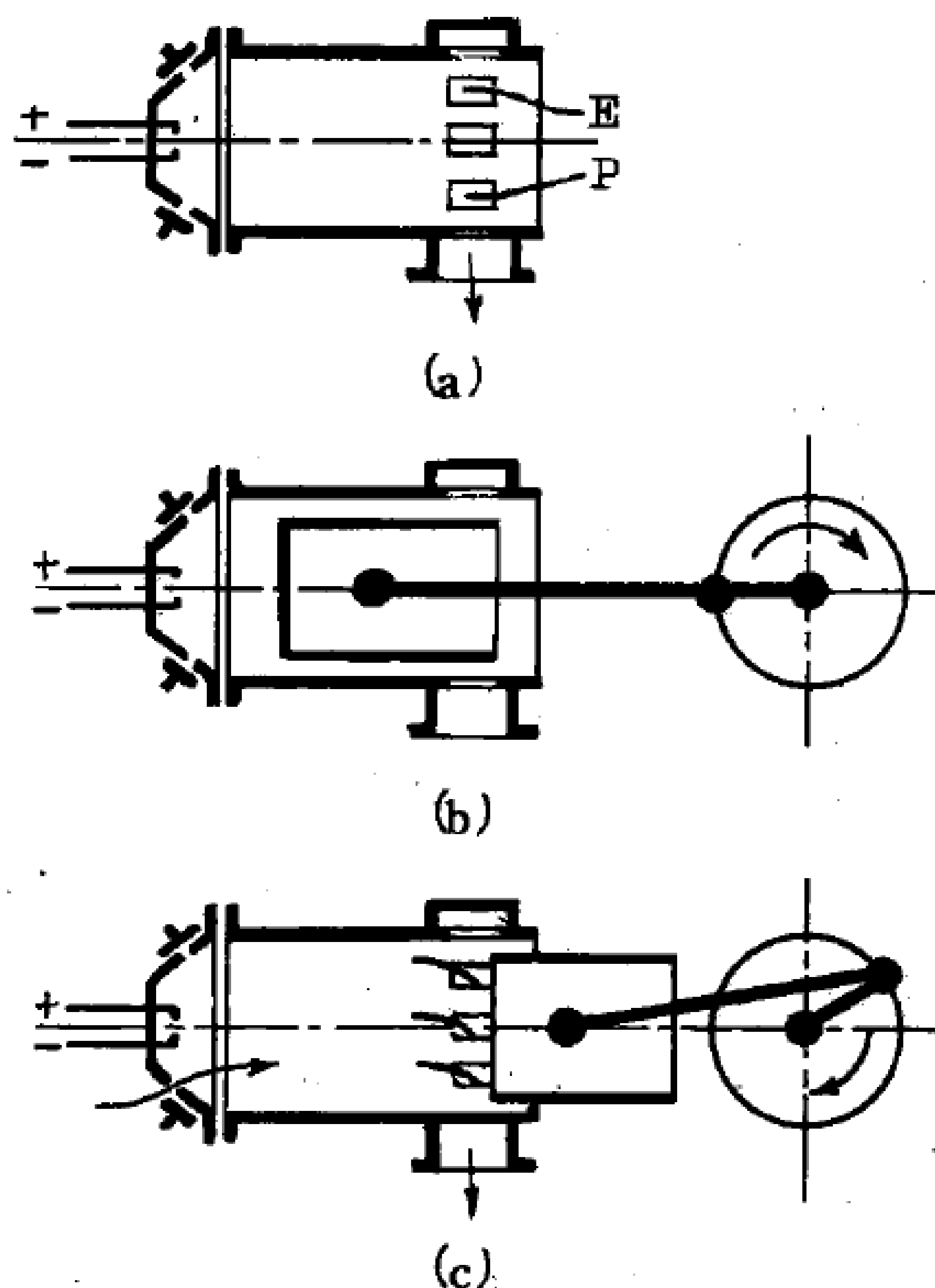


圖 2－11　二衝程引擎

【二衝程汽油機】（Two stroke gasoline engine）

無吸氣閥與排氣閥。靠活塞本身使排氣口與吸氣口開閉，如圖2－12 所示。

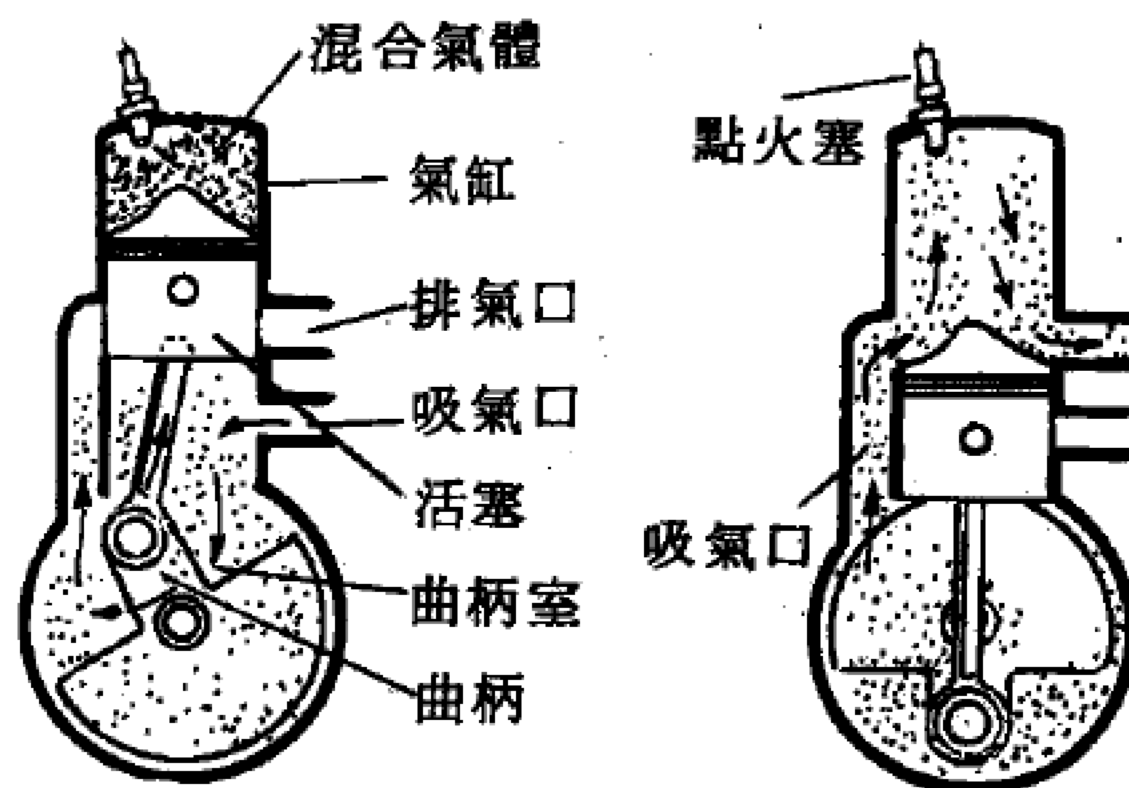


圖 2－12　二衝程汽油機

利用於小型機車等。

二衝程汽油機分爲兩個階段工作：

1. 壓縮衝程——活塞上升壓縮混合氣體。另一方面吸氣口開，混合氣體流入曲柄室。

2. 爆炸衝程——壓縮氣體被點火塞點燃，引起爆炸把活塞壓下來。同時，曲柄室的混合氣體又被壓縮。在這衝程行將完成時，排氣口與吸氣口同時開，燃燒過的瓦斯被排出缸外，混合氣體則由曲柄室被吹進氣缸內。

【二質點的相對運動】（ Relative motion of two particles ）

設二質點的質量爲 m_1 及 m_2，其在一慣性坐標的位置向量分別爲 $\vec{r}_1$ 及 $\vec{r}_2$ 如圖 2－13，m_2 施於 m_1 的內力爲 $\vec{F}_{12}$，m_1 施於 m_2 的內力爲 $\vec{F}_{21}$。若二質點不受外力之作用，但其交互作用滿足牛頓第三定律（反作用定律），即 $\vec{F}_{12}=-\vec{F}_{21}$〔但不一定爲聯心力（*central force*）〕，則兩質點的運動方程式爲

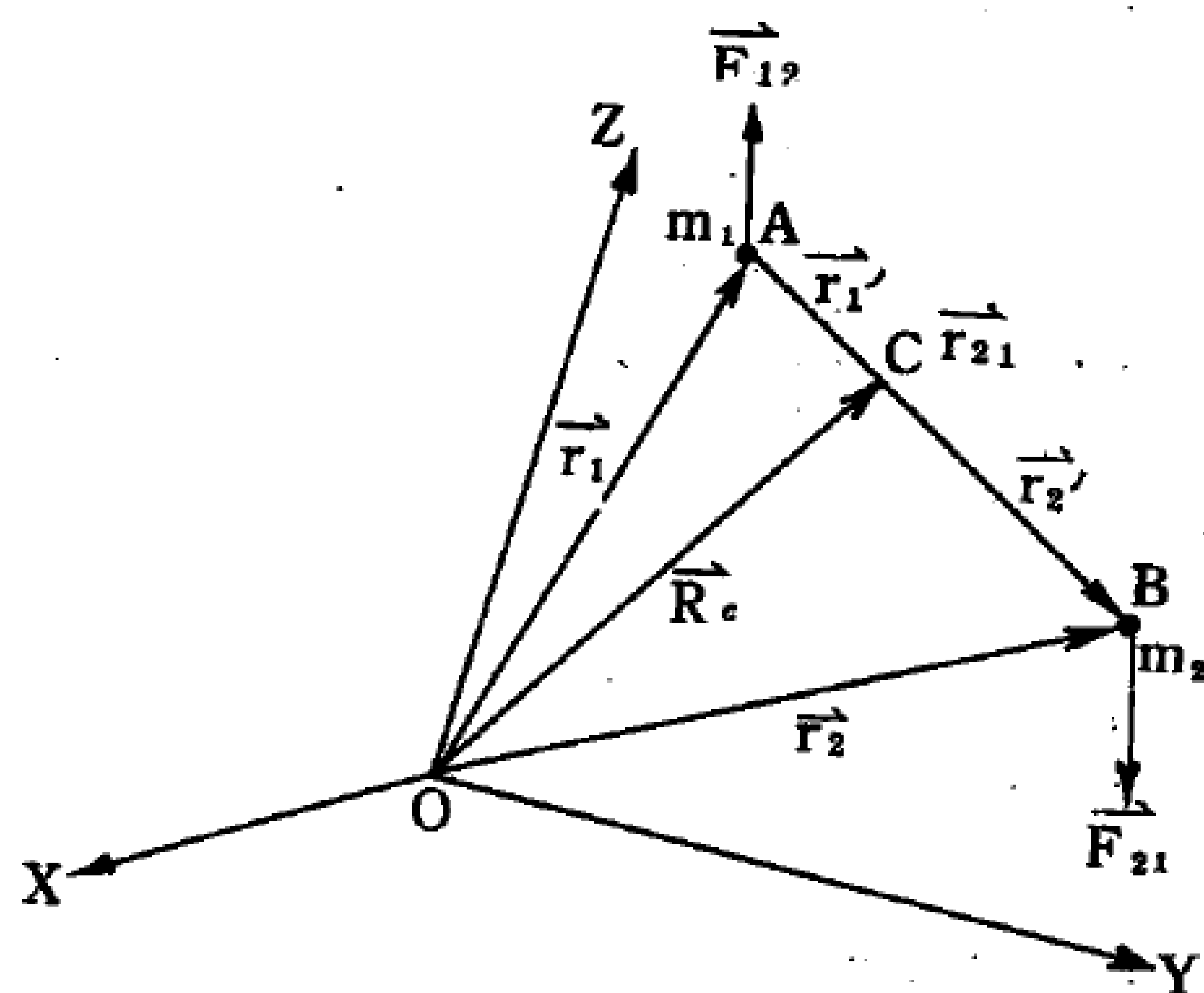


圖 2－13　二質點作相對運動

$$m_1\ddot{\vec{r}}_1=\vec{F}_{12} \qquad m_2\ddot{\vec{r}}_2=\vec{F}_{21} \qquad (1)$$

由圖 2－13 中三角形 OAB 可知

$$\vec{r}_2=\vec{r}_1+\vec{r}_{21} \qquad \ddot{\vec{r}}_2=\ddot{\vec{r}}_1+\ddot{\vec{r}}_{21} \qquad (2)$$

上式中 $\vec{r}_{21}$ 爲 m_2 質點對 m_1 質點的位置向量。將第二式乘以 m_2 可得

$$m_2\ddot{\vec{r}}_2=m_2\ddot{\vec{r}}_1+m_2\ddot{\vec{r}}_{21}$$

將（1）之關係式代入上式，得

$$\vec{F}_{21}=\frac{m_2}{m_1}\vec{F}_{12}+m_2\ddot{\vec{r}}_{21}$$

因 $\vec{F}_{12}=-\vec{F}_{21}$ ，故上式可被寫成

$$\frac{m_1m_2}{m_1+m_2}\ddot{\vec{r}}_{21}=\vec{F}_{21} \qquad (3)$$

此結果告訴我們：二質點不受外力時，m_2 對 m_1 的相對運動相當於 m_1 質點靜止，而 m_2 質點之質量為有效質量 $\frac{m_1m_2}{m_1+m_2}$ 代替時之運動。此有效質量 $\frac{m_1m_2}{m_1+m_2}$ 稱為此二質點之折合質量（ *reduced mass* ），我們常用 μ 表示它，即 $\mu=\frac{m_1m_2}{m_1+m_2}$ 。故（ 3 ）常被寫成

$$\mu\ddot{\vec{r}}_{21}=\vec{F}_{21}$$

這一相對運動的運動方程式與牛頓第二定律的形式很相似，由（ 3 ）的對稱形式，我們很容易看出，m_1 質點對 m_2 質點的相對運動的運動方程式是 $\frac{m_1m_2}{m_1+m_2}\ddot{\vec{r}}_{12}=\vec{F}_{12}$ 。在這兩個相對運動的運動方程式裏，折合質量都相同（此點亦可由其對稱形式看出）。在物理學裏我們時常會碰到這種相對運動的問題。例如：不考慮太陽與地球以外的星球時，太陽（ m_1 ）施於地球（ m_2 ）的重力為 $\vec{F}_{21}=-\frac{Gm_1m_2}{r_{21}^3}\vec{r}_{21}$ ， 而地球施於太陽的重力為 $\vec{F}_{12}=-\frac{Gm_1m_2}{r_{12}^3}\vec{r}_{12}$ ，又 $r_{12}=r_{21}$ ，因此，它們間的交互作用滿足牛頓第三定律，故由相對運動的方程式可看出，站在太陽上所看到的地球對太陽的運動軌道與站在地球上所看到的太陽對地球的運動軌道應完全相同。

我們在導出（ 3 ）式時曾假設無外力作用於二質點上，其實，二交互作用的質點在一均勻重力場內運動時，（ 3 ）仍可成立。設重力場為

$\vec{g}$，則質點所受之外力爲$m_1\vec{g}$及$m_2\vec{g}$，因此其運動方程式爲

$$m_1\ddot{\vec{r}}_1 = m_1\vec{g}+\vec{F}_{12} \qquad m_2\ddot{\vec{r}}_2 = m_2\vec{g}+\vec{F}_{21}$$

將這些關係式代入（2）後可得

$$\vec{F}_{21}+m_2\vec{g}=\frac{m_2}{m_1}\vec{F}_{12}+m_2\vec{g}+m_2\ddot{\vec{r}}_{21}$$

因$\vec{F}_{12}=-\vec{F}_{21}$，故

$$\frac{m_1m_2}{m_1+m_2}\ddot{\vec{r}}_{21}=\vec{F}_{21}$$

即兩質點在均勻重力場內的相對運動與不受外力之情形相同。有均勻重力場之作用時，兩質點的質量中心依一拋物線軌跡運動。

至於二質點對質量中心的運動方程式，圖2－13 中C點爲二質點之質量中心，$\vec{R}_c$爲C點對O點（慣性坐標之原點）的位置向量，由質心至m_1及m_2的位置向量分別爲$\vec{r}'_1$及$\vec{r}'_2$。若無外力作用於二質點，則$\ddot{R}_c$爲零，即質心坐標亦爲慣性坐標，故質點對質量中心的運動方程式爲

$$m_1\ddot{\vec{r}}'_1=\vec{F}_{12} \qquad m_2\ddot{\vec{r}}'_2=\vec{F}_{21} \qquad (4)$$

顯然地，要從（4）解出$\vec{r}'_1$或$\vec{r}'_2$，$\vec{F}_{12}$或$\vec{F}_{21}$必須用$\vec{r}'_1$或$\vec{r}'_2$表示。例如，設m_1及m_2間的作用力爲重力，則

$$\vec{F}_{21}=-\frac{Gm_1m_2}{r_{21}^3}\vec{r}_{21}$$

因 $\vec{r}_{21}=\vec{r}_2-\vec{r}_1$

或 $\vec{r}_{21}=\vec{r}'_2-\vec{r}'_1$

又因 $m_1\vec{r}'_1+m_2\vec{r}'_2=0$

由上兩式可得

$$\vec{r}'_1=-\frac{m_2}{m_1+m_2}\vec{r}_{21} \qquad \vec{r}'_2=\frac{m_1}{m_1+m_2}\vec{r}_{21} \qquad (5)$$

故$\vec{F}_{21}$可寫爲$\vec{r}'_2$的函數，即

$$\vec{F}_{21} = -\frac{G m_1^3 m_2}{(m_1 + m_2)^2} \frac{\vec{r}_2}{|\vec{r}_2|^3}$$

因此，我們現在可解（ 4 ）的第二式而求得 $\vec{r}_2$ 與時間之關係 。若二質點相對運動之軌道已知，則由（ 5 ）之關係可得一重要結論，即站在質心上所看到的每一質點的軌道與相對運動的軌道相似。例如，用一粒子撞擊另一原先靜止的粒子時，其相對運動的軌道爲一雙曲線，因此每一粒子對質心的軌道也必定是雙曲線。

【二體問題】(Two-body problem)

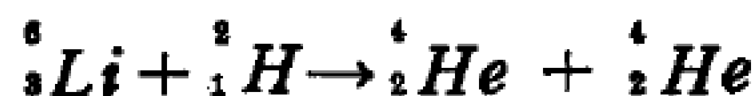
對於兩個物體在只受到相互作用力的情況下之運動的分析，稱爲二體問題。即是在(1)該二物體以外的影響均不考慮，及(2)該二物體間的作用力的形式爲已知或已設定的假設下，且知這二物體在某瞬間的相對位置、運動狀況、質量等，而欲求這二物體在以後任何瞬間的位置和運動。

【人工控制】(Manual control)

凡調變或控制需經人手操縱者。

【人工變換】(Artificial transformation)

利用天然放射線或加速中子、質子等粒子，撞擊無放射性元素的原子核時，此安定的原子核之構造卽被撞壞，重新變成另一種原子核，這是一種人工方法。例如用人工加速後的氘原子核撞擊鋰原子核，產生二個 α 粒子（氦），如下表示之：



$${}^{6}_{3}Li + {}^{2}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{4}_{2}He$$

除單個中子、質子外，亦可用一羣中子或質子作爲撞擊物。最常使用的核粒羣是氘(“重”氫核*deuteron*)和氦離子，氘是一個中子和一個質子的束縛體，氦離子是兩個中子和兩個質子的束縛體，和 α 粒子一樣。更複雜的核粒羣也可用來激發人工變換。質量數爲 11 的硼原子核（五個質子和六個中子的集合體）和質量數爲 12 的碳原子核（六個質子和六個

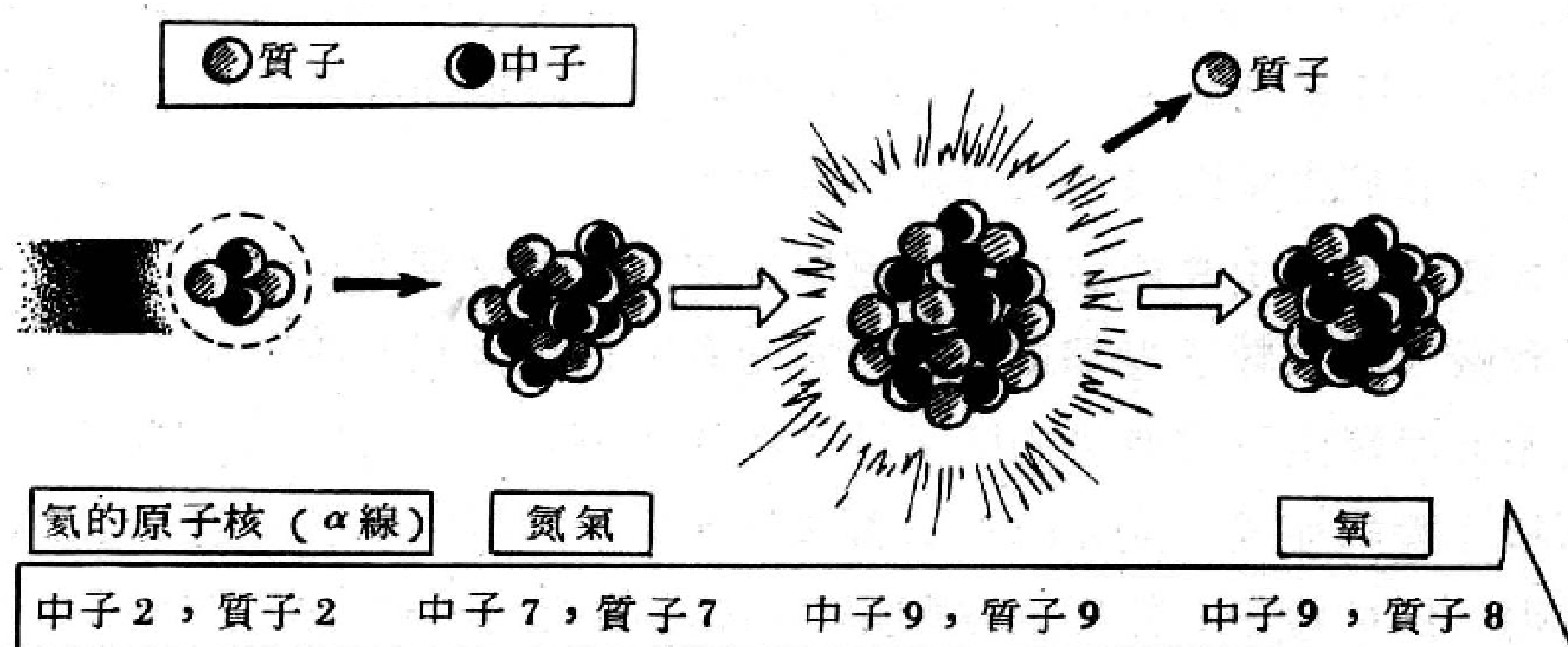


圖 2 — 14　原子核的人工變換

中子的集合體）等，是一些比較重要的例子（見圖 2 — 14）。

【人之發聲能力】（Vocal ability of human being）

人的發聲，是從肺部上升空氣，所操縱的一種管樂器。說話的時候，氣流經過氣管，穿過喉頭，喉頭是由肌肉和軟骨結合而成的，有兩片彈性組織，延伸橫切上部，這就是聲帶。聲帶由喉嚨肌肉任意控制著，由肺部吐出的空氣，使聲帶振動，發出一連串的波，這就是我們的發聲能力。

每個人各有不同的音色，視他的泛音和共鳴而定。人的胸部，有不少充滿空氣的空腔，可和聲帶發出的聲波起共鳴。感冒的時候，空腔中充滿了黏液，也因而改變了一個人的音色。女人的音調尖而高，是因爲她們的聲帶短而薄。

【人員偵測】（Personnel monitoring）

由物理或生物的度量法以測定人體已受曝露的游離輻射量，如度量膠片佩章變黑的程度等。

【人造元素】（Artificial elements）

有些化學元素在自然界的產量甚爲稀少，或根本不存在，因此爲了需要，必須在實驗室中以人工方法製造。這些人造元素包括鎝（$_{43}Tc$）

、鉅（$_{61}Pm$）、砈（$_{85}At$）、鍅（$_{87}Fr$）以及所有的超鈾元素。這些元素沒有一種是穩定者。假設它們在地球初成時期即存在（可能有幾種如此），它們也早已衰變或分解為輕元素。

人造元素是由高能裝置（如廻旋加速器）和反應器以電子、質子、中子和較大的核粒子撞擊或輕或重的元素，結果會結合成新元素，或分裂重元素而產生所需質量的原子核。例如，鎝是鉬（$_{42}Mo$）以氘（"重"氫核）撞擊而成。鉅是鈾的分裂產物，但也可以用中子照射釹（$_{60}Nd$）而得。以α粒子（氦核）撞擊鉍（$_{83}Bi$）即產生砈，而鍅則是釷（$_{90}Th$）或鈾分裂後的產物。鍅只有一種"天然"同位素，這是錒（$_{89}Ac$）經阿伐衰變而成，但此法所生產的鍅量太少，因此元素87 在天然元素中通常並不列入考慮。人造元素除了不穩定性和具有放射性外，其餘與自然元素無異。它們也有自然元素所擁有的化學和物理特性，並且與週期表上它們周圍的元素性質相彷。所以，鎝是一種金屬元素，化性則介於錳與錸之間，相當於我們所熟悉的紫色高錳酸鹽，鎝亦有透明彩色的過鎝酸鹽。鉅是鑭系稀土元素的一員，在化學性質上與鑭系其他元素難以分辨。同樣，砈屬於滷族，由於正電性較碘稍微高一點，在週期表中其餘滷素均位於其上。鍅是一種鹼金屬，較鹼族金屬系列中最高的天然元素銫的揮發性與游離性為高。

參閱"超鈾元素（*Transuranic elements*）"條。

【人造地】（Artificial ground）

發射機接地式天線，損失比較大，因為地的效應為天線的一半，如大地電阻大，導電弱，此部分歐姆值增大，損失即加多。最好用"人造地"替代大地。所謂"人造地"是利用幾條導線向外展開，埋在地平面底下，如此效果高損失小。

【人造行星】（Artificial planet）

即運行於繞日軌道上之人造衛星（*artificial satellite*），亦

稱太陽衞星。

【人造雨】(Artificial rain)

在形成過冷卻水滴的雲中，有了冰晶體後便會形成雨滴。爲了造成冰晶體，就需要冰晶核。因此，用飛機在過冷卻的雲中，散播可成爲冰晶核的藥品，以製造冰晶體，促使下雨，這就是人造雨。

【人造放射】(Artificial radioactivity)

在人爲控制下所產生的放射。

【人造放射性元素】(Artificial radioactive elements)

1932 年英國查兌克 (*Sir James Chadwick*)發現了中子。繼而從釙($_{84}Po$)或鐳 ($_{88}Ra$) 放出的 α 射線與輕元素作用產生豐富的中子源之方法也被知道了，進而又發現了由中子引起核子轉變的效果非常大。因爲中子所帶的電性中和，並不受庫倫障壁的影響，甚至在低速度下，中子都可穿進在它經過路徑的原子核內部。在原子核內部，中子便會受到很大的核力，而被束縛在原子核裏。這種吸收的結果只增加原子核內的中子數，並不改變其質子的數目。但是絕大多數的情形是，這種新改變的中子對質子比數並不是穩定的一種，所以會產生放射性。中子經由貝他衰變作用而變成一個質子，因此吸收中子和貝他衰變的最後結果，還是將原來的元素轉變成原子序增一的新元素 (在週期表中比原來元素高一位)。

此種吸收中子後之不穩定、具放射性之元素即人造放射性元素之一例。亦可用其他粒子及加速器產生他種人造不穩定核，這些不穩定的放射性核經過一次或數次釋出某種粒子後即達到穩定的組態，所放出的粒子往往是 α 和 β 等粒子。α 粒子是氦核，含有二個質子和二個中子，一原子核在發射一 α 粒子後，其原子序 Z 減二，其質量數 A 減四。β 粒子是電子，一原子核在發射一 β 粒子後，其原子序加一，而質量數不變。1930 年代的科學家如醉如痴的研究這種作用，結果製造了很多的新放

射性元素。

【人造偏振片】(Polaroid)

如圖 2 — 15 所示，未偏振的光射至此偏振材料上時，片上有一特性偏振方向，如圖示之平行線。只有電場向量平行此方向振動的波列才能透過此片，與此方向垂直振動者則被吸收，透過的光即成平面偏振光。偏振方向係在製造過程中決定，製時將某些長鏈狀分子置於韌性塑膠片中，再將薄片拉緊使分子相互平行排列，這些碳水化合物的鏈上並附有碘原子，以供傳導電子。現可製造 2 呎寬 100 呎長的偏振片。

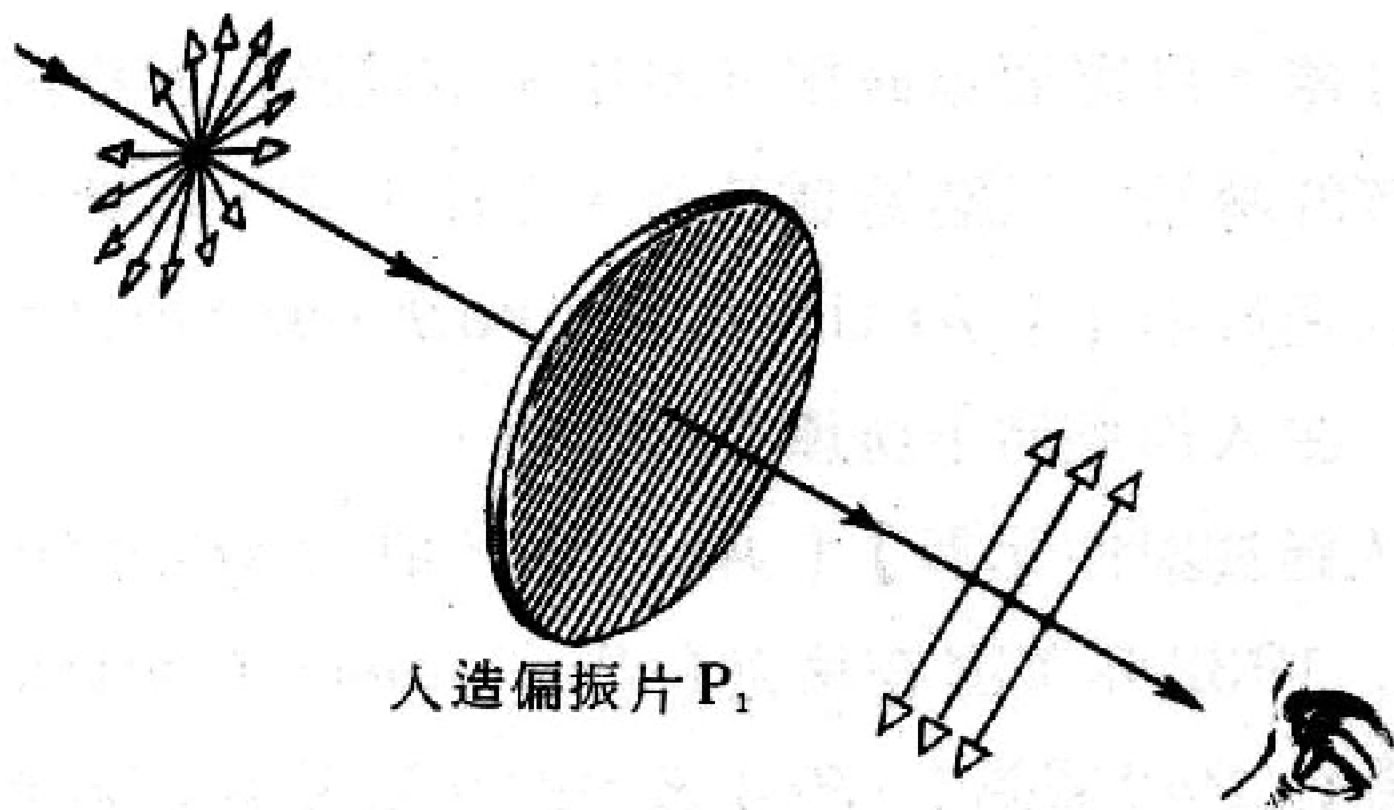


圖 2 — 15

【人造雲母】(Micanite)

由多種絕緣原料做成的介質。

【人造磁鐵】(Artificial magnet)

凡原來不具有磁性，利用磁感應原理或電磁感應原理等人工方法處理後（如放在磁體附近，或放在通電螺線管中等）才具有磁性的物體，稱爲人造磁鐵。其種類：

【 I 】就形狀分

1. 磁針 (*magnetic needle*)

2. 條形磁鐵 (*bar magnet*)

3. 蹄形磁鐵 (*horse shoe magnet*)

【 II 】就磁性保留時間分

1. 暫時磁鐵 (*temporary magnet*)

2. 永久磁鐵（*permanent magnet*）

人造磁鐵可用軟鐵、鋼鐵或其他合金製成。軟鐵容易磁化，也容易失去磁性；鋼難磁化，但是磁化後則難失去磁性。因此，用軟鐵棒製成的磁鐵，稱爲暫時磁鐵。用鋼棒製成的磁鐵，稱爲永久磁鐵。

【人造衛星】（Artificial satellite）

火箭、飛彈、太空航具，或其他人造物體經設計並置入繞地公轉之軌道上者，均稱爲人造衛星。人造衛星是牛頓在其*Principia*一書中所擬出來的思想實驗，圖2—16 乃從他的書上複印出來。從一山頂射出來的子彈，當它們的初速度愈快，離山腳的距離就愈遠。當速率足夠高時，它將繞著地球作圓周運動，使我們聯想到月亮也是在地球重力場中的一個落體。

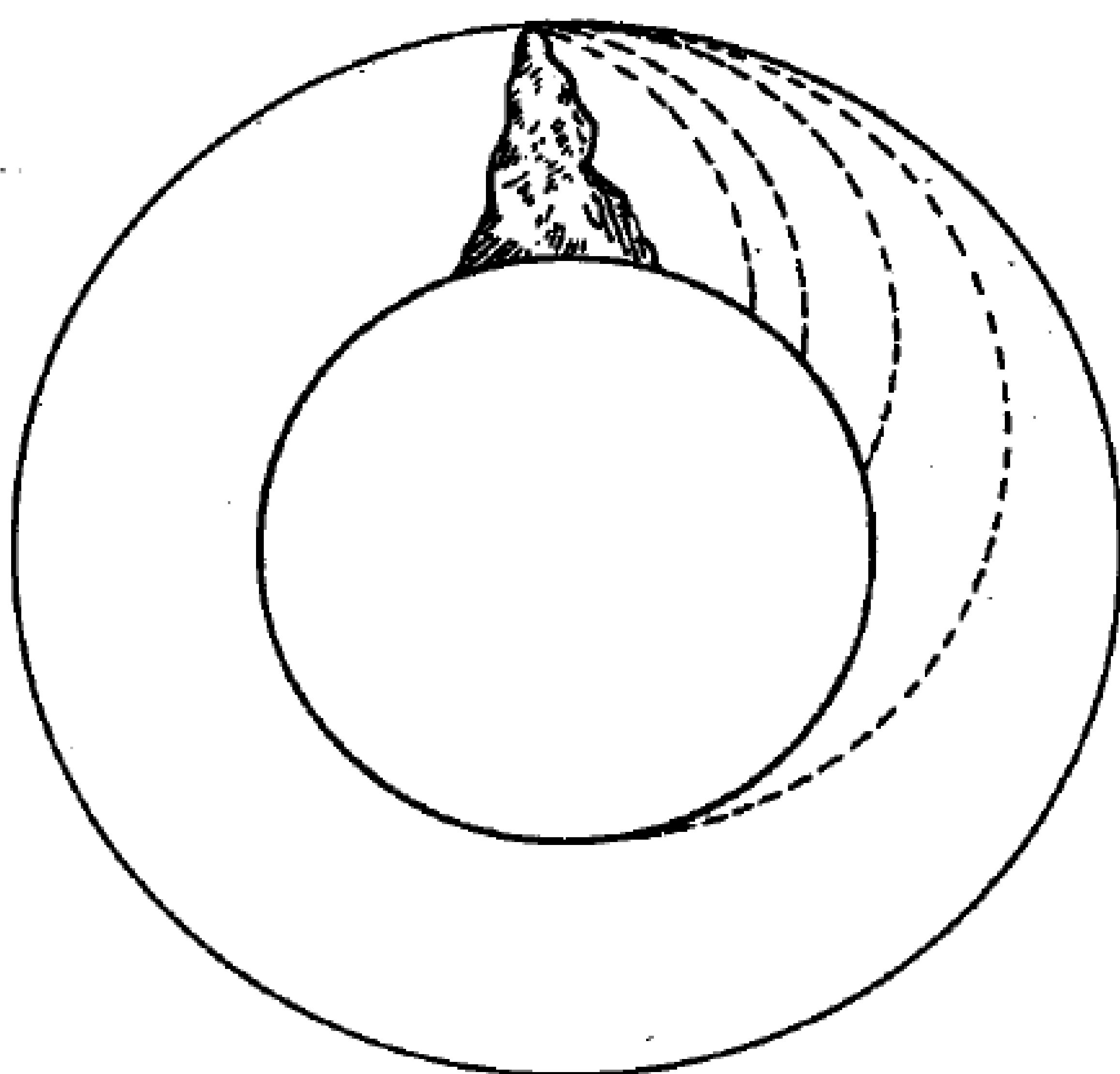


圖2—16　人造衛星

自太空探測開始以來，已經射出數百次火箭，在它們回到地球之前，迅速測量了大氣上層及附近太空的情形。幾十個人造衛星，無人的及載人的，已經由火箭送入軌道或月球，對各種現象作更長久或更詳細的觀察。在軌道上的許許多多人造衛星，送回關於磁場強度、隕石的大小和數量、電子和離子的密度、各種輻射的強度等等資料。衛星整理好所有這些資料，定期地或者在接收站發出命令時，把資料送回地球來。這些資料可以有許多實際的用途，它能協助作出更準確的氣象預測，更準確地駕駛船隻、飛機和太空船；爲世界性的電報、電話和電視系統建立長距離的通訊體系；回答有關地球、太陽和宇宙的來源的許多基本問題

。此外，研究太空，幫助人類準備有一天到其他行星或更遠處去，以開發奇異的宇宙。

如航行衞星使船隻和飛機的駕駛員得到非常準確的“參考坐標”，使他們能準確地知道他們在甚麼地方。這些衞星具有特高頻和極高頻無線電接收和播送系統。地面的追蹤站監視這些衞星，並且在最遲 12 個小時前預先決定每個衞星的位置和軌道。這些追蹤站接著把軌道資料發送給衞星。每個衞星接收這些資料並把它們貯藏起來。以後，它們每隔兩分鐘把資料播送一次。它實際上在說：“我在這裏，以我作參考坐標，你將正確地知道你在那裏。”駕駛員能極準確地做好這工作。由於衞星的軌道過一段時間後會略微改變，每隔 12 小時左右，地面追蹤站要向衞星供給一次新的播送資料。

“泰羅”(*Tiros*)衞星是用來研究氣象的。它們拍攝覆蓋地球大塊面積的雲層情況，並把這些照片送回地球。研究這些照片有助於氣象人員更準確地和更早地預測氣候。這些衞星還能夠報告溫度、輻射和太空的其他情形。

通訊衞星有兩種，被動的和自動的。被動的通訊衞星僅僅是一具反射器。播送站向那衞星發射訊號，這訊號由地面上另一個遙遠的接收站接收。“回聲”一號是一個被動通訊衞星。它是一個氣球，直徑為一百呎，包著一層鋁箔。

自動的通訊衞星接收訊號後，把它加強，再把它發送出去。它們包含有接收、加強和播送的設備，以特殊的電池或太陽能電池作動力。第一個通訊衞星在 1962 年七月進入軌道。它立刻開始工作，每當它處在西半球上空時就在美國與歐洲之間轉播信息和電視節目。另一種人造衞星，是設計來拍攝有軍事設施的照片並把它們送回地面的。還有特殊的人造衞星，當敵方飛彈發射時，能立即發出警報等等。

所有這些人造衞星正為人類搜集大量的資料，但是它們只能把所需

資料的一部分告訴人們。爲了瞭解得更多，人類必須自己進入太空，親身地進行研究。這些人造衞星的體積和形狀差異很大，它們隨所作研究的種類而各不相同。其重量由數磅至數噸不等，大小從直徑數吋至直徑一百呎。

人造衞星繞地球運行的軌道不外爲圓形和橢圓形兩種。欲使衞星沿一圓形軌道運行，在發射的時候，必須符合二個條件，其一發射的方向須成水平，其二發射的速度必須等於圓軌道速度，此兩項都不能有毫厘之差，否則就不能成爲圓形軌道。因此成功的機會非常的難，至於橢圓軌道，對於發射的速度和角度，均無這些限制，因此通常的人造衞星的軌道都是橢圓形。不過，這樣發射上去的人造衞星，應使之沿著距近地點（圖2－17中之R_P）爲300公里以上，遠地點（R_A）爲2,000公里以上的橢圓形軌道運行。如果近地點是在300公里以下，恆因稀薄的大氣阻力，使衞星失去速度而降落。根據最近美國太空總署所發佈的意見說，人造衞星如能進入近地點爲500公里以上的橢圓形軌道，則其運行的時間，可達到12個月以上。如近地點是300公里的高度，僅能維持15日。要是僅有160公里的近地點，則未等到廻轉一周時，衞星即因大氣的阻力而墜落。但近來探測火箭的高度增加，根據其所得來的資料判定，假定近地點在500公里的高度，大約可延至5年至6年。另有一部分學者提出

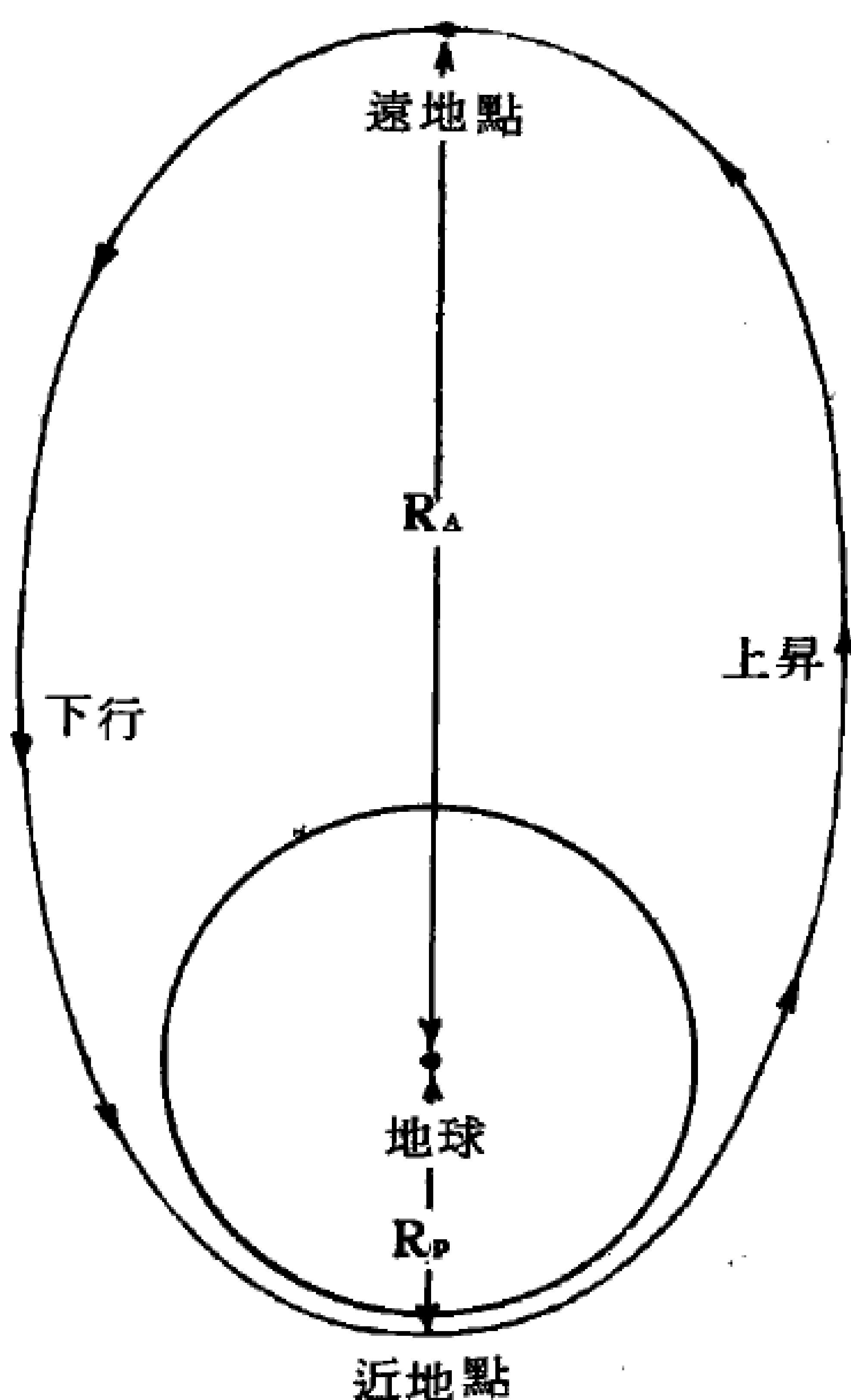


圖2－17　人造衞星的橢圓形軌道

不同的意見，而認爲能延到 8 年至 10 年。 誰對誰不對，確很難斷定，只有事實才能來判斷。

目前美國所發射之衞星，爲使火箭的第一節與第二節脫離後，落在地面上，不致於使人命與財產發生危險。通常其軌道的方向，都是向東 40 度南。這個方向之決定，當然是有其理由的，因爲朝此方向發射，正好是大洋的方向，這樣當空中火箭體落下時，恰好是掉在大洋裏；另一理由是在東 40 度南的海上，觀測所很多，設備非常良好，便於觀測與追蹤；最後的理由是人造衞星在赤道上廻轉時，在地上只看到週期變更而不能發現擺動。在地上觀測的範圍，亦只限於在赤道之上。如果由西向東廻轉，固可以利用地球的自轉而加速。但在上空所發生的各種現象，恆隨緯度的不同而有顯著的變化。最理想的是通過極的上空，而向南北方向廻轉。如是即可通過全部地面之上，而觀測亦因之爲全世界性了。美國最初之人造衞星，完全是爲方便計，才特別使其通過南北美洲的上空。

人造衞星發明後，已經能夠使人類把最精密的科學儀器送到太空中去，然後地球上的科學家們，再經由電子信號的連繫，就可獲得新的資料，增進我們的知識，擴大我們的視線。

火箭工程的發展，促使太空時代及早來臨。美國的哥達博士、德國的膈伯爾斯博士及蘇俄的一位數學家基俄爾茍布斯克教授，對火箭研究的貢獻，幫助了人類實現進入太空中的夢想境地。

【人造輻射】(Artificial radiation)

人類在 1890 年以後就開始增加背景放射。1895 年 *X* 射線被發現後，它在內科診斷和治療以及在工業上的用途蒸蒸日上。在 1896 年，輻射線被發現並且輻射性物質在實驗室裏集中起來以供研究。 1934 年又發現了非輻射性元素的輻射性同位素，它們可以人工合成並且它們在大學裏、醫院裏、工業上的用途均很廣泛。

然後到 1945 年竟發展成原子彈。由於鈾或鈽的分裂而產生原子核爆裂，並且隨伴著有很劇烈的 γ 輻射（ *gamma radiation* ）。除此之外，尙有輻射性同位素以分裂原子殘渣(即分裂碎片 *fission fragments* ）的方式被遺留下來。這些分裂的碎片很廣泛地分佈於大氣中。有些甚至於高昇至平流層（ *stratosphere* ）並且在以後的日子裏降落下來，成爲落塵（ *fallout* ）。

我們很難估計，人類從這些人造的輻射來源裏吸收了多少附加的輻射。落塵並不是完全散佈在地球上，而是在原子彈常常試爆的更高的範圍裏。於是在工廠裏的人、與輻射性同位素的研究有關係的人、在醫學中心常常從事 X 射線工作的人，他們或許比其他的人更曝露於輻射線之下。

這些現代科學和醫藥的輔助品在科技工藝進步的國家比其他地方更爲普遍及廣泛的分佈，並且也只有在進步的國家，才常常發現原子彈試爆後的輻射線。

現已嘗試去計算出此種曝露的估計值。有一個估計，對一些科技進步的國家，顯示出平均大約每年有 0.02 ～ 0.18 *rem* 人體侖琴當量被吸收，此數量是由內科診斷及治療所使用的輻射的結果（一般是 X 射線）。雖然在工作過程中常常曝露的個體，自然要比這個平均值還多，但這種職業上的曝露，平均所增加的也不會多於 0.003 *rem* 。

假如這些發現被擴張到今後的 30 年間，並假設每年的吸收量都是一樣的，結果在我們所研究的國家中，其人造輻射的平均吸收量是每人每 30 年吸收 0.6 *rem* ～ 5.5 *rem* 。

我們發現人從所有輻射來源所吸收的人造輻射的速率，大約是自然輻射的兩倍。這個增加劑量的主要原因是由於使用 X 射線以探究齲齒、斷骨、肺臟損害、嚥下的東西等的結果。

日常生活用品中，有一部分亦含有值得重視的輻射線源。例如電視

是一組低電壓X射線裝置，從影像管燈絲釋出的電子，經電壓加速後，撞擊塗在管壁上的磷光質。這是X射線管操作的一種型式。但因電壓低，以及產生X射線的磷光劑效率小，又有玻璃及塑膠物質擋住X射線，同時，欣賞電視時，總隔著一段相當的距離。凡此種種，

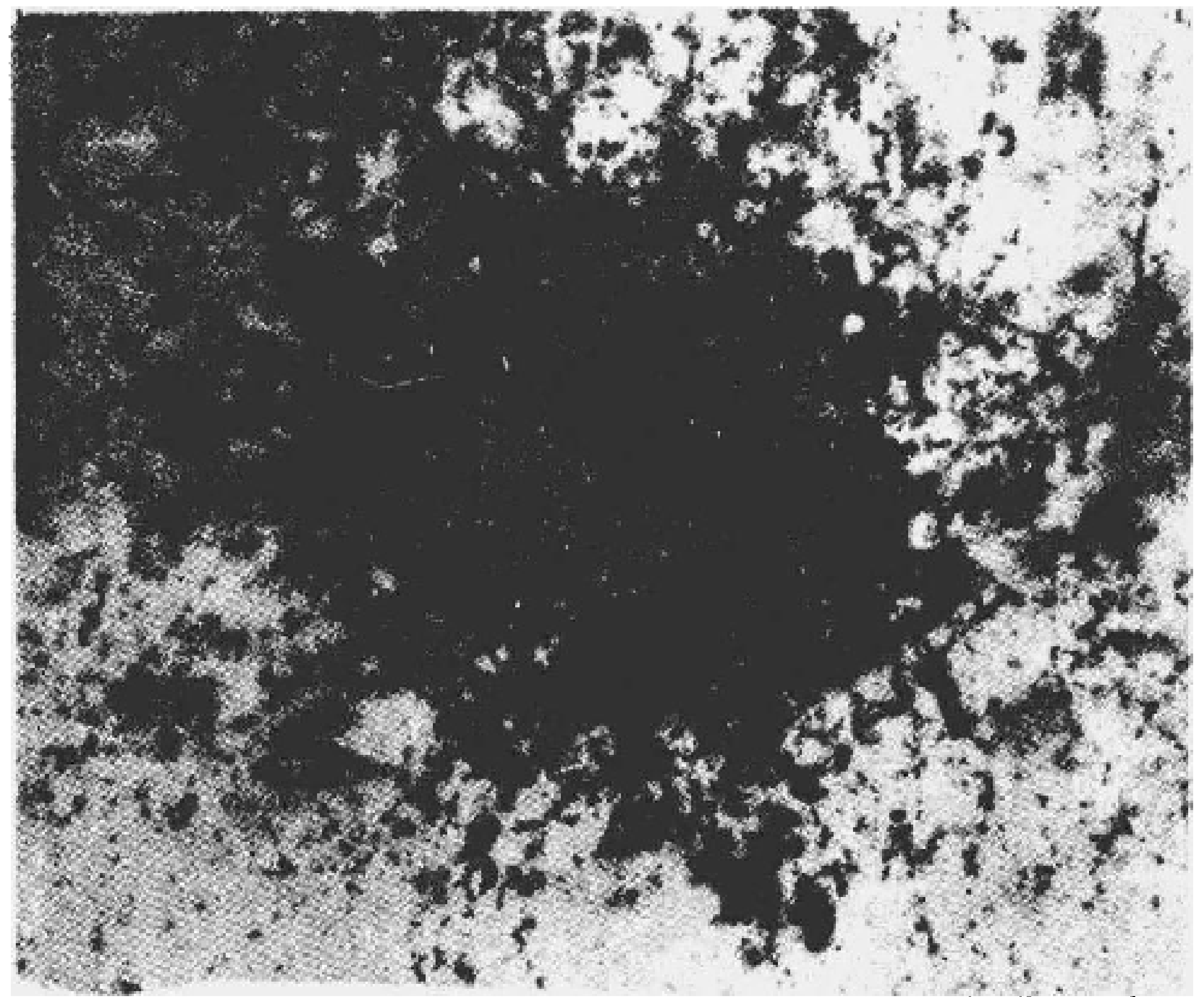


圖 2 — 18
在大氣中的人造輻射性產生核乳狀液圖，這個輻射是源之於一個原子核爆炸所產生的分裂產物，此圖放大 1,200 倍。

使我們所受劑量大為減少，平均每年每一個人所受總量少於一個 *millirad* 的劑量。

許多年來，各種不同的含鐳顏料，被塗在夜光錶及鐘上。但因鐳和它的子系產物，能放出高能量的 γ 射線及 β 射線，能穿透錶面，每小時由錶面放出之劑量超過 2 *millirads*；由鐘面所放出的超過 200 *rads*，按各人習慣不同，這些輻射源使我們每年所受總劑量，增加 10 至 1,000 *millirads*。如果一個人用夜光錶及鐘，平均每年受到 25 *millirads* 的總劑量。所以最近幾年，已改用氚（^{3}H）作夜光漆的原料，因為氚放出的 β 射線能量低，玻璃或塑膠即可完全擋住，用來塗在錶上，放出的射線劑量幾乎為零。

同時日常生活中，又有另一些輻射線源。如浴缸內，塗有作為光滑劑的含鈾顏料，這種鈾化合物，有著鮮艷的黃色。給使用者帶來了每小時超過 100 *millirads* 的劑量率。如房屋以含有輻射線的石頭砌成，居住者則將受每小時 10 *millirads* 的劑量。這些事件只是偶然發生，對

平均劑量而言，增加甚微。

【人爲干擾】(Artificial interference)

接收設備附近的電氣裝置所引起的干擾。產生工業干擾的主要是一些發生電弧或火花的裝置，如電焊機、電力運輸機、電點火發動機等。要在接收設備的內部來消除工業干擾是十分困難的，但是可以在發生這些干擾的設備內採取措施來大大降低干擾的強度，例如將設備中的導線屏蔽起來以及採用專門濾波器等。

【人爲雜音】(Artificial electrical noise)

接收無線電或電視所遇到的干擾，是來自引擎或電器用具者。

【人體侖琴劑量】(Roentgen-equivalent-man; rem)

在對生物體的實驗時發現身體組織所受損害並不常與所吸收的輻射能量成正比。不同種類的輻射導致不同的生物效應，整個身體所受的傷害程度要以輻射的能量及輻射的種類兩者而定。生物效應的大小要視放射質點在其通路上所引起的游離密度來決定，不同輻射線所引起的各種不同生物效應之比，稱之爲相對生物效應(*relative biological effect*; *rbe*)。這個比數是產生同樣生物效應所吸收X光或γ射線的能量對其他研究中輻射線所吸收的能量之比，人體侖琴劑量即任何一種輻射的數量由人體吸收而產生相當於一侖琴γ射線或X光所引起的效應。若以*rad*表示吸收劑量，乘以*rbe*時，其乘積即爲*rem*。對人體而言 1 *rad* $\doteqdot$ 1 侖琴。

【人體排熱的方法】(Body exothermic method)

人體排除的熱，一部分是顯熱(*sensible heat*)；一部分是潛熱(*latent heat*)。潛熱的來源有二，第一是水份從皮膚表面上蒸發，第二是呼吸時肺部將水份排入空氣(但功用是將顯熱自人體排除)。水的蒸發需要顯熱，此一顯熱是由溫暖的人體供給的。

就體熱的排除而言，有三件事情是值得討論的：

1. 熱究係以何種方式自人體傳給周圍環境？

2. 何種因素會影響人體的耗熱速率？

3. 傳給周圍環境的熱，究係進入那一部分去了？對室內空氣有何影響？

傳熱的方法有三種：輻射、傳導、對流，現就此三項傳熱的方法簡單說明如下。

(1)輻射——空氣與衣服對人體的輻射熱散失沒有很大的影響。人體的輻射熱碰到冷的物體時，即轉變爲顯熱，因此輻射熱是以顯熱的方式進入空氣的。人體一直在繼續不斷的棄熱而從不自空氣或周圍環境接受熱量；換句話說，流出與流向人體的熱之總和，其方向恆係自人體流向體外。但接近強熱源（例如熱輻射器）的人，還是會接受熱量；在此情形下，人體不僅需要排除正常的廢熱，同時還要排除一部分與此一自外界吸收之熱量相等的熱量。

設計空氣調節設備的安裝時，應注意多天室內不宜有“冷”的地板、牆壁或輻射源，夏天尤應設法去掉所有的“熱點”（*hot spot*）。在裝有空氣調節設備的地方，人體接受或排除輻射熱的重要性，夏天比較低一些，這是因爲夏天的地板、窗戶、牆壁的溫度，跟室溫與人體表皮的溫度大致相同的緣故。

(2)傳導——坐在冷傢具上的人，一定會損失熱量。人體在室內與物體的接觸，通常僅限於陳設、傢具等等，因此，衣服、坐墊等都可以防止體熱以傳導的方式傳給這些物體。此外，傢具的溫度通常係與房間的乾球溫度（*dry bulb temperature*）相等，故熱量儘管會以傳導方式流向傢具陳設等物品，但主要的還是傳給了室內的空氣。

熱會從曝露的皮膚流向與之接觸的空氣，或經由衣服傳給跟衣服接觸的空氣，這兩種方式都屬於傳導的範疇，因爲這兩種情形都涉及冷熱兩種物體的接觸。

(3)對流——皮膚跟衣服表面上的空氣流，是由對流的現象造成的。房間中如裝有空氣調節設備，則室內空氣會有流動現象發生，此種人工的空氣流，使空氣與皮膚、衣服接觸，顯熱遂由於溫度差的關係，以傳導方式從人體流向空氣。空氣的流動愈快，跟溫暖的皮膚接觸的空氣之更換愈快；空氣愈冷，則溫度差愈大。換句話說，空氣的溫度跟運動情形，會影響顯熱以上述方式傳給空氣的速率。

空氣流經皮膚會把部分水份帶走（蒸發）。其次，大量出汗能使衣服吸收多量的水份，故當空氣經過汗濕的衣服時，衣服上的水份即被空氣攜以俱去（空氣中此一潛熱的增加，當然是由於人體的顯熱被移走而造成的）。

最後，人類肺部呼出的空氣較為溫暖且露點較高，故知人體可將顯熱與潛熱排給吸入的空氣。

空氣運動的情形能影響潛熱跟顯熱加入空氣的速率，故空氣的濕度狀況，在此一方面是非常重要的，因為不僅潛熱與顯熱的發散速率與此有關，即連二者發散量之比也會受到影響。我們試舉一例來說明。如空氣的乾球溫度為 $100°F$ （高於皮膚的正常溫度），則空氣與皮膚之間的溫度差將使顯熱從空氣流向皮膚，此時人體會大量出汗，因為人體正常的廢熱，以及由空氣流到人體的熱，皆須及時予以排除。所幸人類天賦的恆溫控制機構至為完美，故上述各種調節都是完全自動的。（當我們站在 $115°F$ 、相對濕度 20%的房間之內時，身體流汗的速率一定很快，但衣服、皮膚卻不會覺得很潮濕，這是由於空氣之相對濕度很低，可以很快的使水份蒸發的緣故。）

如空氣之乾球溫度很低，則人體之排熱可全由顯熱流動的方式行之；此時身體的恆溫控制系統會將流汗的速率調得很低，以免人體由於排熱太快而覺得寒冷。因此，就人體的舒適效果來說，此種將顯熱與潛熱排給皮膚與附近空氣的方法，是最重要的一種排熱工具（輻射熱之損失

須很小，且須假定身體沒有碰到冰涼的金屬傢具，否則，直接傳導的熱損失將會很大）。

綜上所述，我們可將此種至關重要的排熱方式，列成如下的幾項要點：

①如空氣之乾球溫度低於皮膚與衣服的溫度，則恆有若干顯熱自人體流向空氣。

②人體水份的蒸發一直在進行，這樣可使人體「冷卻」，並將潛熱加入空氣（儘管有時蒸發的水份量為極微）。

③空氣流經皮膚與衣服的速率增高，可提高上述兩種散熱方式的速率。

④室內乾球溫度增高時，上述第一種排熱方式的效率將大為減低，而第二種方式（出汗）會自動的增強。

人們從事各種活動時，其熱量之發散以及散發熱量中顯熱與潛熱之比也各不相同，為易於瞭解起見，請參閱下表。表中所謂代謝率，係指人體燃燒、利用其燃料（食物）以及發散此種燃燒熱的速率而言。

活動型式	代謝率或總的熱發散量 B.T.U./hr	顯熱 B.T.U./hr	潛熱 B.T.U./hr	水份之發散 lb/hr
靜坐	384	225	159	0.153
站立不動	431	225	206	0.199
裁縫	482	225	257	0.243
辦公室職員	490	225	265	0.256
商店職員	600	225	375	0.362
裝訂工人	626	225	401	0.387
鞋匠	661	225	436	0.420
撞球員	680	230	450	0.434

步行(2哩/小時)	761	250	511	0.490
金屬工人	862	277	585	0.564
傢具油漆工	876	280	596	0.575
餐館侍者	1,000	325	675	0.651
步行(3哩/小時)	1,050	346	704	0.679
步行(4哩/小時)	1,390	452	938	0.904
石匠、泥水匠	1,490	490	1,000	0.964
保齡球員	1,500	490	1,010	0.974
伐木工人	1,800	590	1,210	1,167
慢跑	2,290	…	…	…
步行(5哩/小時)	2,330	…	…	…
激烈運動	2,560	…	…	…
最激烈運動	3,000～4,800	…	…	…

【註】*B.T.U.*爲英制熱量單位，爲使一磅之水升高1°*F*所需之熱量。

【人體電容】(Body capacity)

人體對機件或地所形成之電容。此種電容的產生極易造成機件的不正常工作或噪音(*noise*)等，需加以避免。

【入射光瞳】(Entrance pupil)

或稱入射瞳，爲從物體見到孔徑光闌(*aperture stop*)的像。

【入射角】(Angle of incidence)

入射光線和被射面相遇的一點*O*，如圖2—19 所示，稱爲入射點(*point of incidence*)；從*O*點引一直線*ON*和被射面垂直，

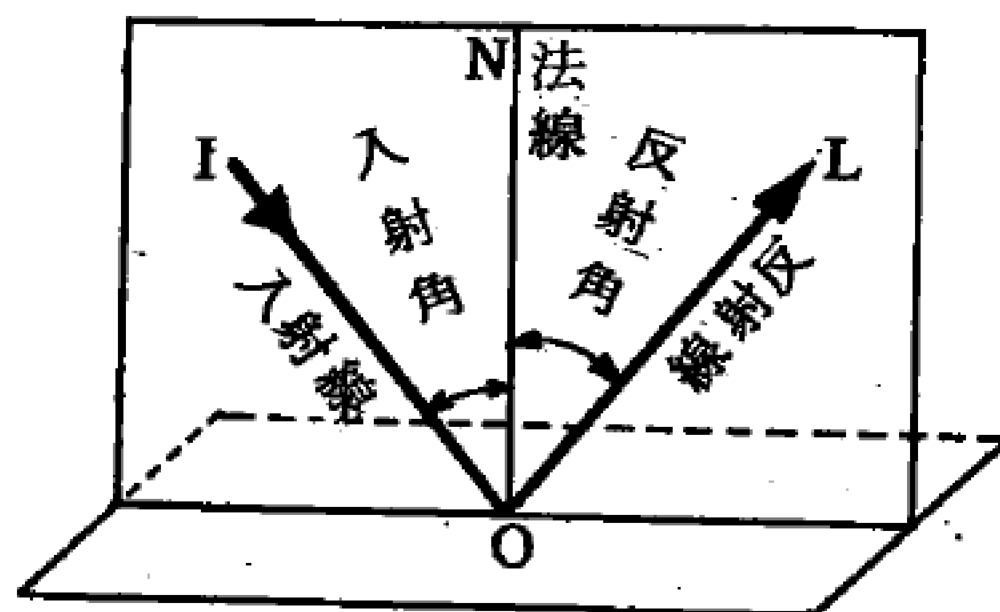


圖 2 — 19

稱爲法線（*normal line*）。入射光線 IO 簡稱入射線，此線和法線 ON 所成的 $\angle ION$，稱爲入射角，即入射線與法線所成之交角。反射光線 OL 簡稱反射線；此線和法線所成的 $\angle NOL$，稱爲反射角。與被射面垂直而包含入射線、反射線和法線的平面，稱爲入射面。入射線、法線、反射線均在同一平面上。

參閱“折射（*Refraction*）”條。

【入射面】（**Plane of incidence**）

含入射線、反射線及法線之平面。

詳閱“入射角（*Angle of incidence*）”條。

【入射點】（**Point of incidence**）

入射線與反射面之交點。

詳閱“入射角（*Angle of incidence*）”條。

【八音度】（**Octave**）

兩音的基本頻率之比是二時，這兩音之間的音程稱爲八音度，或簡稱八度。兩音也包括在八音度的音程中。男人與女人合唱時，常有八音度的音程，八音度是最早最常用的音程標度。

【八面體對稱】（**Octahedral symmetry**）

這種對稱性在點羣上的符號爲 O，屬於立方體或正八面體的對稱。有二十四個對稱元素：單位元；八個繞立方體對角線的三重軸（C_3）；三個繞 x、y、z 軸的二重軸（C_2）；六個繞 x、y、z 軸的四重軸（C_4）；和六個繞經原點平行於面上對角線的軸之二重軸（C_2）。

【八隅學說】（**Octet theory**）

主張分子中，若每個原子核最外層都有八個電子時，則該分子最穩定。

【八極管】（**Octode**）

具有一個屏極、一個陰極和六個柵極的電子管，這種管多用作混頻管。

【力】(Force)

吾人一般對“力”的概念是來自人類須藉著肌肉的伸縮去拉(*pull*)或推(*push*) 物體而使其運動狀態改變的經驗。我們可以把這一原始力的概念，推廣到不是藉著人類“體力”去改變一物體之運動狀態的問題，如支持重的物體，移動物體，使運動中的物體停止都要用力。當吾人拉橡皮筋，可使其伸長；但放開時橡皮筋又恢復原來的形狀。就像這些例子，可知力能使物體的形狀改變，或改變物體的運動狀態。

在物理學中，“力”需更嚴謹的定義，依照牛頓的觀點力是改變一物體的運動狀態的原因，或者說力是使物體發生加速的原因。從經驗上了解一物體與另一物體(或系統)互相作用時，它們的運動狀態會發生變化，這時我們便說物體(或系統)施一“力”於另一物體上。我們也曉得“力”不能夠單獨存在，“力”必定是從某一“源頭”(*source*)發出的，同時它也必須藉著對某些物體(或系統)的影響才能表現出來。因此，在物理學上“力”的定義是表示一物體與另一物體間的交互作用(*interaction*)。

施力者需接觸被施力之物體，此種力稱為接觸力(*contact force*)，如摩擦力、表面張力等；如力超越空間，並不接觸被施力物體，如地球對於物體所施之引力、磁力等，謂之超距作用力(*action at a distance force*)。

而在自然界所有的力又可另分為三類，各有不同的相對強度。(1)重力為最弱者；(2)電磁力其強度為中等；(3)核力。核力有二類型，一為結合原子裏中子和質子之力(極強)，另為產生貝他衰變之力(弱)。因所有這些力均與環境中之特定實物相關聯，故為“真實”的力。繩之張力、摩擦力、推壁之力或壓縮之彈簧的伸張力、電磁力；以上之力均為原子間之相吸引及相推斥之(電磁)力的巨觀表現。

在動力學中，力是指形成動量變化的物理原因，以動量 $\vec{p}$ 的時變率 $d\vec{p}/dt$ 量之。當所討論的速度遠低於光速時，動量的時變率可以加速度和質量的乘積代之，即力（ $\vec{F}$ ）可以下式表之

$$\vec{F}=\frac{d\vec{p}}{dt}=m\vec{a}$$

力是一種向量，需依向量法則運算。

一力可分解爲二力或數力，分解後之數力稱爲原來一力的分力，原來一力稱爲其分力的合力（ *resultant of forces* ）。如數力同時作用一物體而不引起運動時，稱爲力之平衡（ *equilibrium of forces* ）。各力的作用線互相平行時，這些力稱爲一組平行力（ *parallel force* ）。二平行力依同方向作用於一物體的二點時，其合力大小必等於二平行力之和，而方向與原來的方向相同。如相等二平行力依相反方向作用於物體上同一點時，則成爲平衡，其合力爲零。如這二平行力依相反方向作用於不相同之點，則成力偶（ *couple* ），使物體發生轉動。

甲物體施力於乙物體時，稱爲作用（ *action* ），乙物體同時以大小相同而方向相反的力施於甲物體，則稱爲反作用（ *reaction* ）。

【力之三要素】（ Three factors of force ）

力的大小、力的作用點（或稱施力點）、力的方向爲力的三要素。其表示法如圖 2—20。

大小——以線段長短表示之。

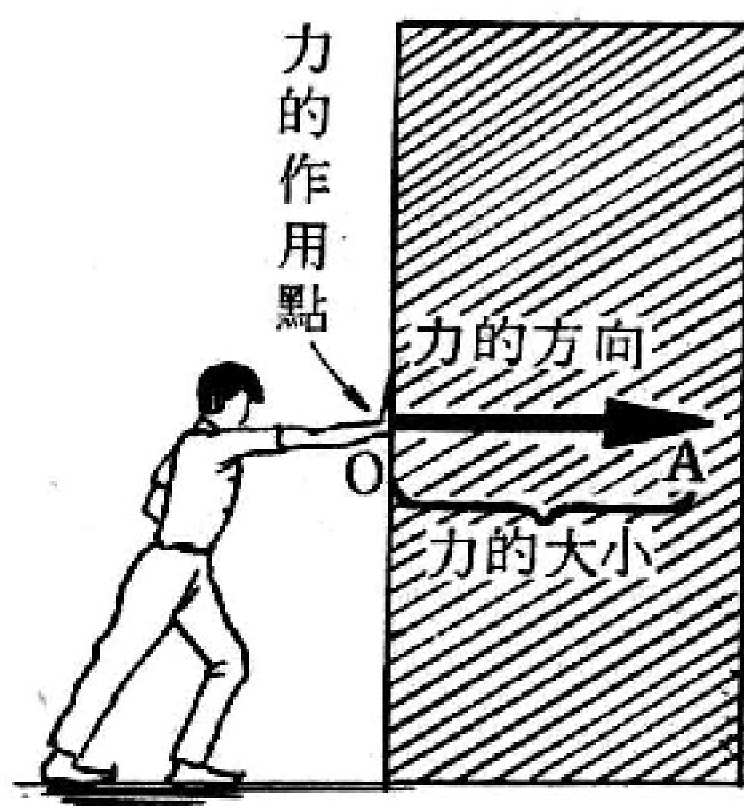


圖 2 — 20

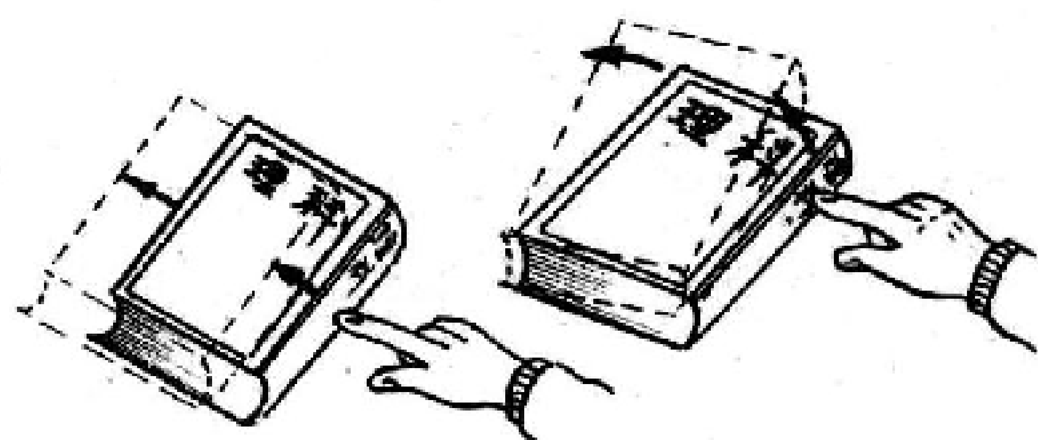


圖 2 — 21

方向——以線段矢頭表示之。

作用點——以線段起點表示之。

當考慮有關力的問題時，必須考慮這三個要素。力的作用，不能單以其大小決定。如圖 2－21 所示，用手指推書的中間時，書固然會一直向前動，可是如果推書的一端時，書則旋轉。由此，同樣大小的力，依力作用的點，或作用的方向，有不同的結果。

因此，要考慮力的問題時，一定要考慮到上述的三個要素。

【力之分解】(Decomposition of force)

具有與一個力相同作用的二個以上的力，稱爲此一力之分力。求分力亦謂力的分解，其法：以已知之力爲對角線，以所欲分解之二方向爲二邊，作平行四邊形，則其二邊即分力。若更欲分之爲數方向之數力，如法遞求之即得。如圖 2－22，要把一力$\overrightarrow{OA}$，分解爲$\overrightarrow{OX}$、$\overrightarrow{OY}$ 方向的分力時，就是作成一個以$\overline{OA}$爲對角線；$\overline{OX}$、$\overline{OY}$ 爲二邊的平行四邊形，$\overrightarrow{OB}$、$\overrightarrow{OC}$即爲$\overrightarrow{OA}$ 的分力。二力的合力雖只有一個，一力要分解爲二分力的方法，如圖 2－22 中$\overrightarrow{OB'}$、$\overrightarrow{OC'}$所示，則可有很多種

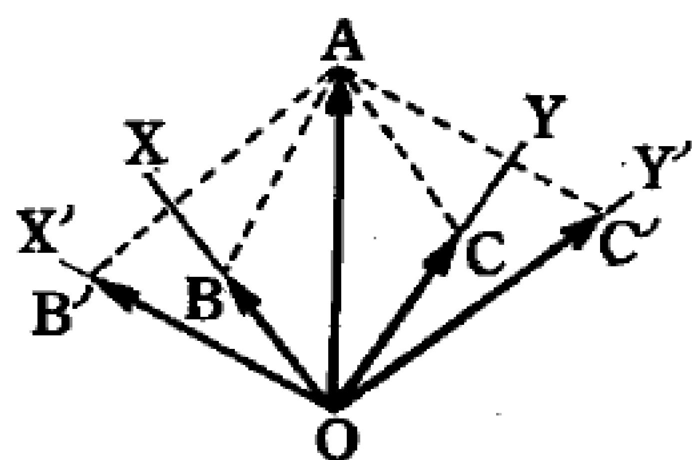


圖 2－22

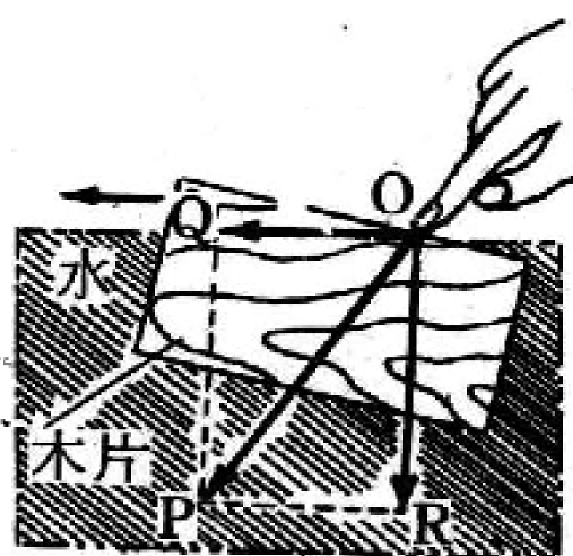


圖 2－23

。可是，要把力分解時，應把它分在有意義的方向。例如，圖 2－23 中，對浮在水面木片的一點O，向斜方向推時，木片會略下沈，同時向前進。因此，可把$\overrightarrow{OP}$分爲水平方向的分力$\overrightarrow{OQ}$ 與垂直方向的分力$\overrightarrow{OR}$來考慮問題。下面介紹幾個實例中力之分解：

【 I 】簡單樑架結構上力之分解

1. 設用一撐樑 S 來支撐一桁樑 T（圖 2 — 24），期使 T 得不致由於負荷 $\vec{R}$ 之作用，而變爲彎曲。於是，負荷 $\vec{R}$ 之作用遂分佈在 T 和 S 上；而 T 和 S 之方向即爲有關分力之方向，至爲明顯。倘用兩個人來代替牆壁，使與負荷 $\vec{R}$ 保持平衡，就可以看出 T 上與 S 上的應力的性質，那便是 T 所承受者是拉力負荷，而 S 所承受者則是壓力負荷。根據 $\vec{R}$ 力之分解，乃知桁樑所需承受之拉力爲 $\vec{K_1}$，撐樑所需承受之壓力爲 $\vec{K_2}$。

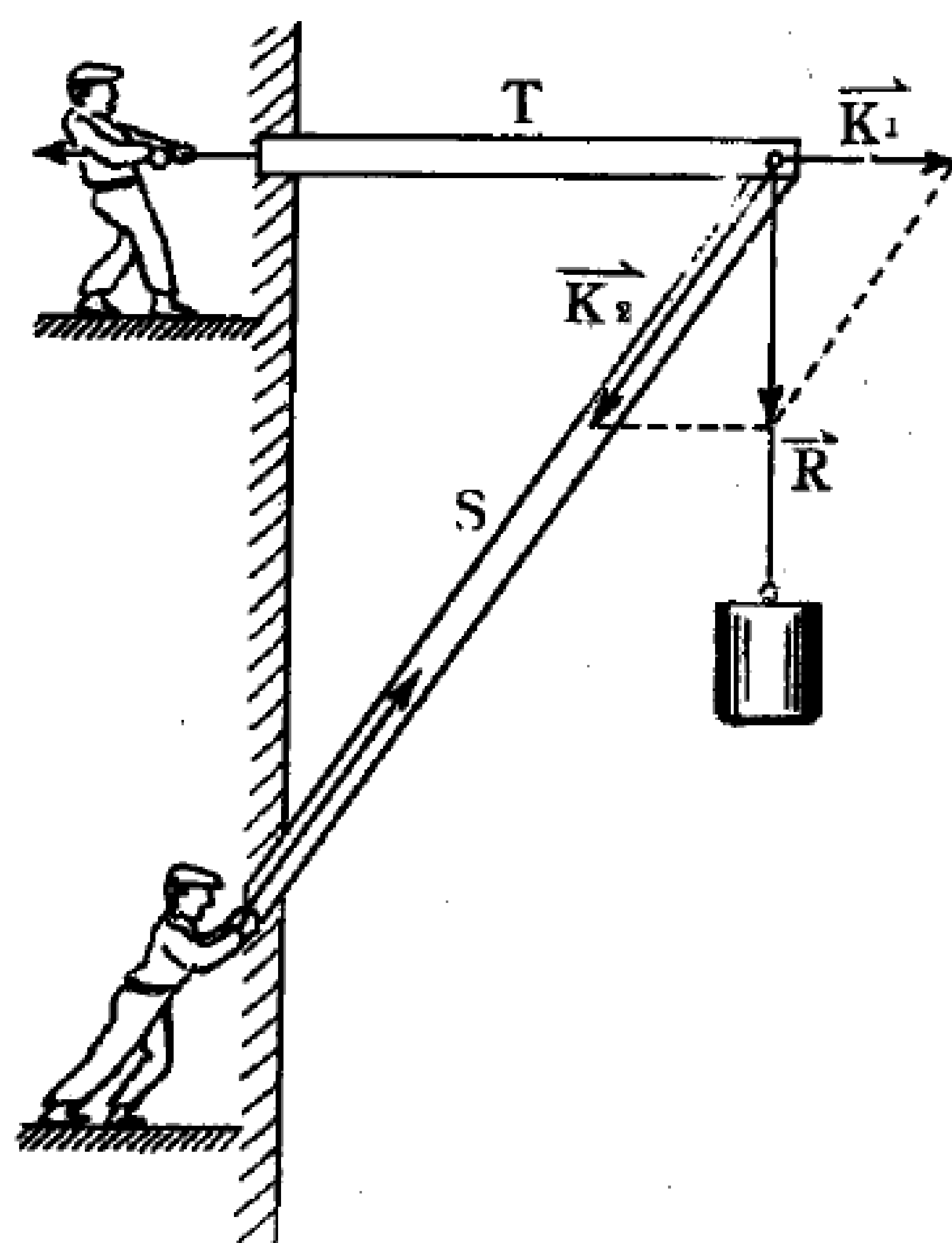


圖 2 — 24

$\vec{R}$ 力分解爲一桁樑拉力 $\vec{K_1}$ 和一撐樑壓力 $\vec{K_2}$

2. 在上例中，也可以將桁樑 T 用一根傾斜的拉桿 Z 將其掛住，以代替支撐。關於 T 和 Z 上的應力情形，也只有那兩個人最有資格向我們說個一淸二楚（圖 2 — 25）。在這一次中，必須要有一個人壓推桁樑 T，另一個人拉住拉桿 Z，才能使負荷 $\vec{R}$ 保持平衡。根據 $\vec{R}$ 力之分解，遂知桁樑所需承受之壓力爲 $\vec{K_1}$，拉桿所需承受

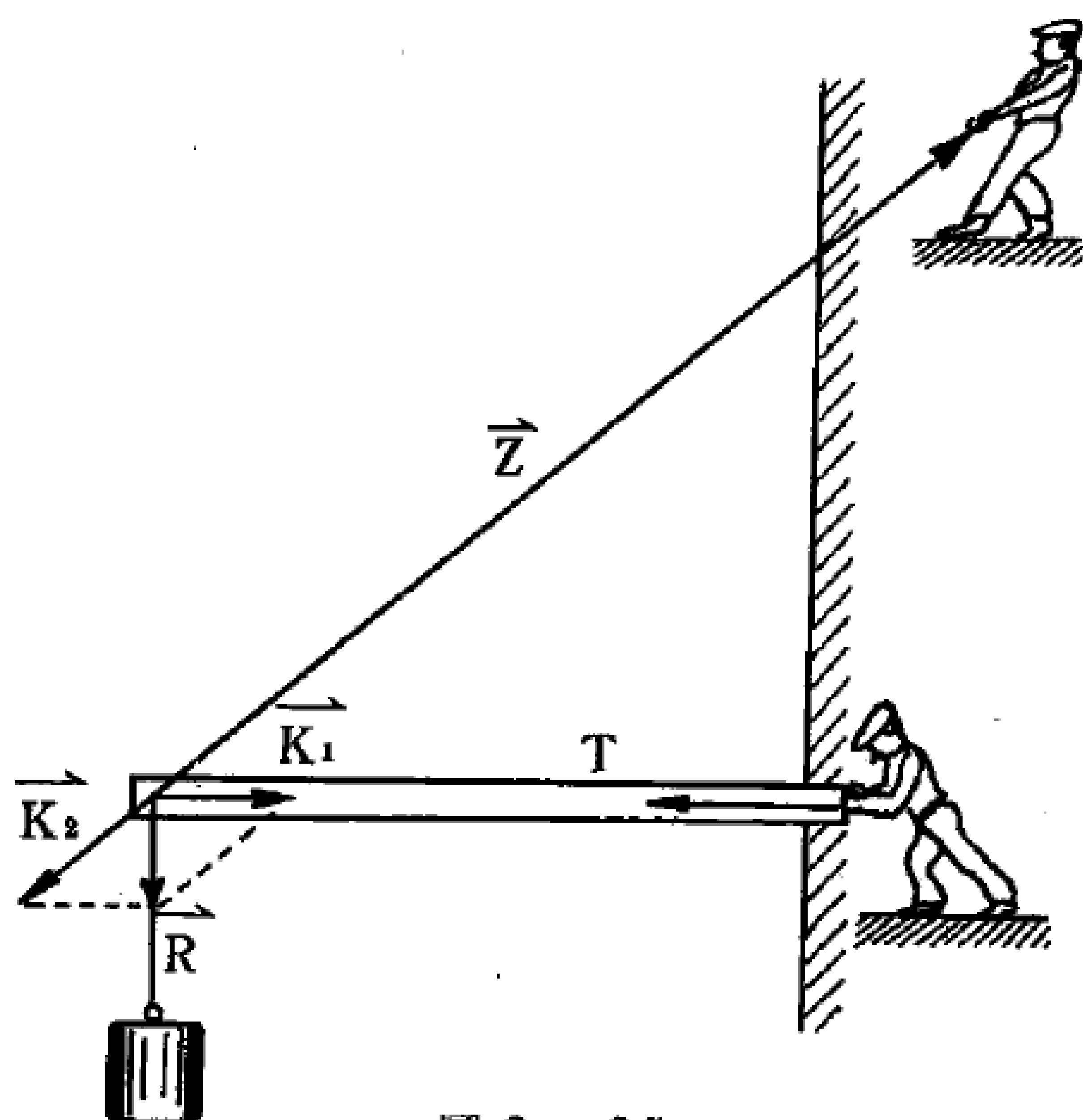


圖 2 — 25

$\vec{R}$ 力分解爲一桁樑壓力 $\vec{K_1}$ 和一拉桿拉力 $\vec{K_2}$

之拉力爲$\vec{K}_2$。

3. 一根受到負荷之水平的長桿，置於兩架信秤上（圖 2—26）。計算此種長桿之所謂支座壓力時，可將一力分解爲兩個與其平行的分力，$\vec{K}_1 + \vec{K}_2 = 250$ 及 $\vec{K}_1 : \vec{K}_2 = 20 : 5$ 兩個方程式，從這兩式中就得到

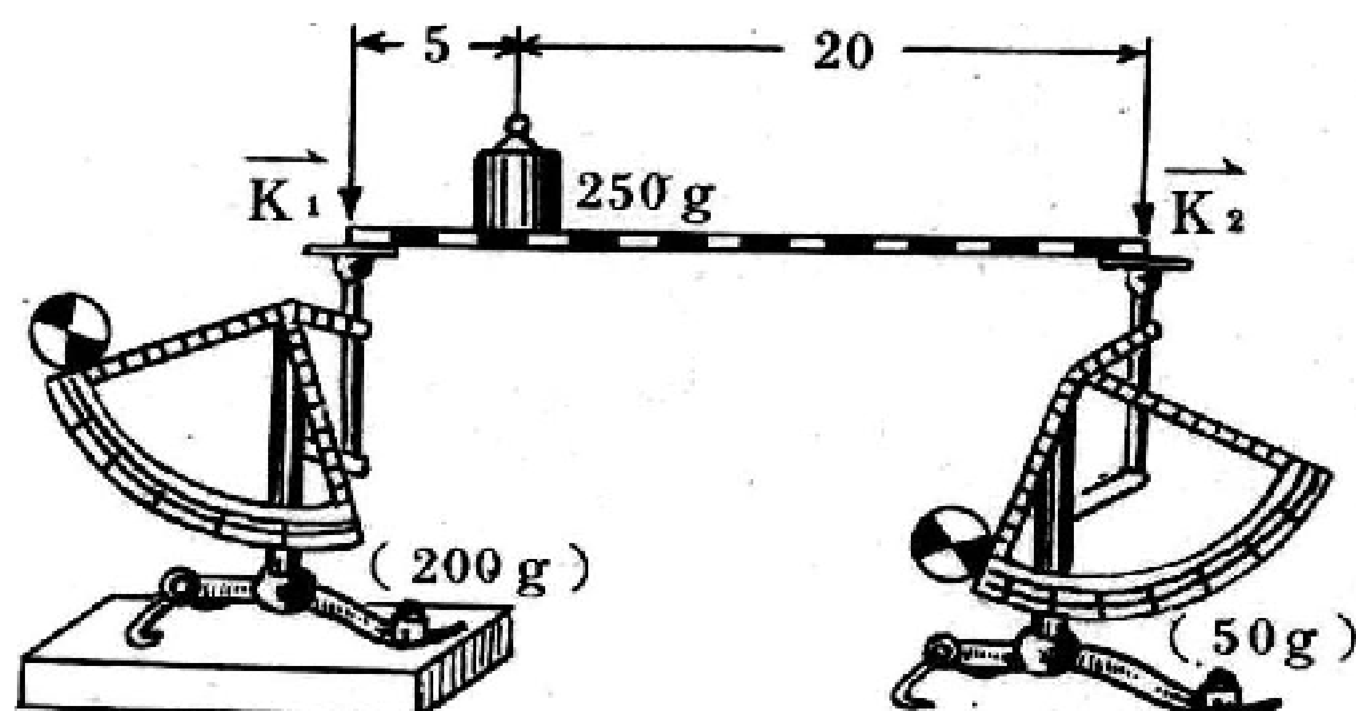


圖 2 — 26
將 250 克重之一力，分解爲兩個與其平行的分力$\vec{K}_1$及$\vec{K}_2$(支座壓力)

$$\vec{K}_1 = \frac{250 \cdot 20}{20+5} = 200 \text{（克重）}$$

$$\vec{K}_2 = 250 - 200 = 50 \text{（克重）}$$

4. 一般屋頂，簡單說來，均可歸源於一種穩置於牆壁M上，包括T、S_1、S_2三根不同之樑的結構（圖 2—27），屋頂結構的重量$\vec{R}$，包括屋頂遮蓋物以及雪的負荷在內，設爲 10,000 仟克重，並作用於最上面的節點O。在此種情形下，只能在三根樑的方向上發生分力。$\vec{R}$首先在上部的尾端分解爲兩個相等的壓力$\vec{K}$，使S_1及S_2兩根撐樑受到壓縮，撐樑乃將此種壓力傳給下部的左右兩個節點，並於該處繼續分解，使在桁樑T上發生一拉應力$\vec{Z}$，在牆壁M上發生一壓應力$\vec{D}$。我們只須稍加思索，

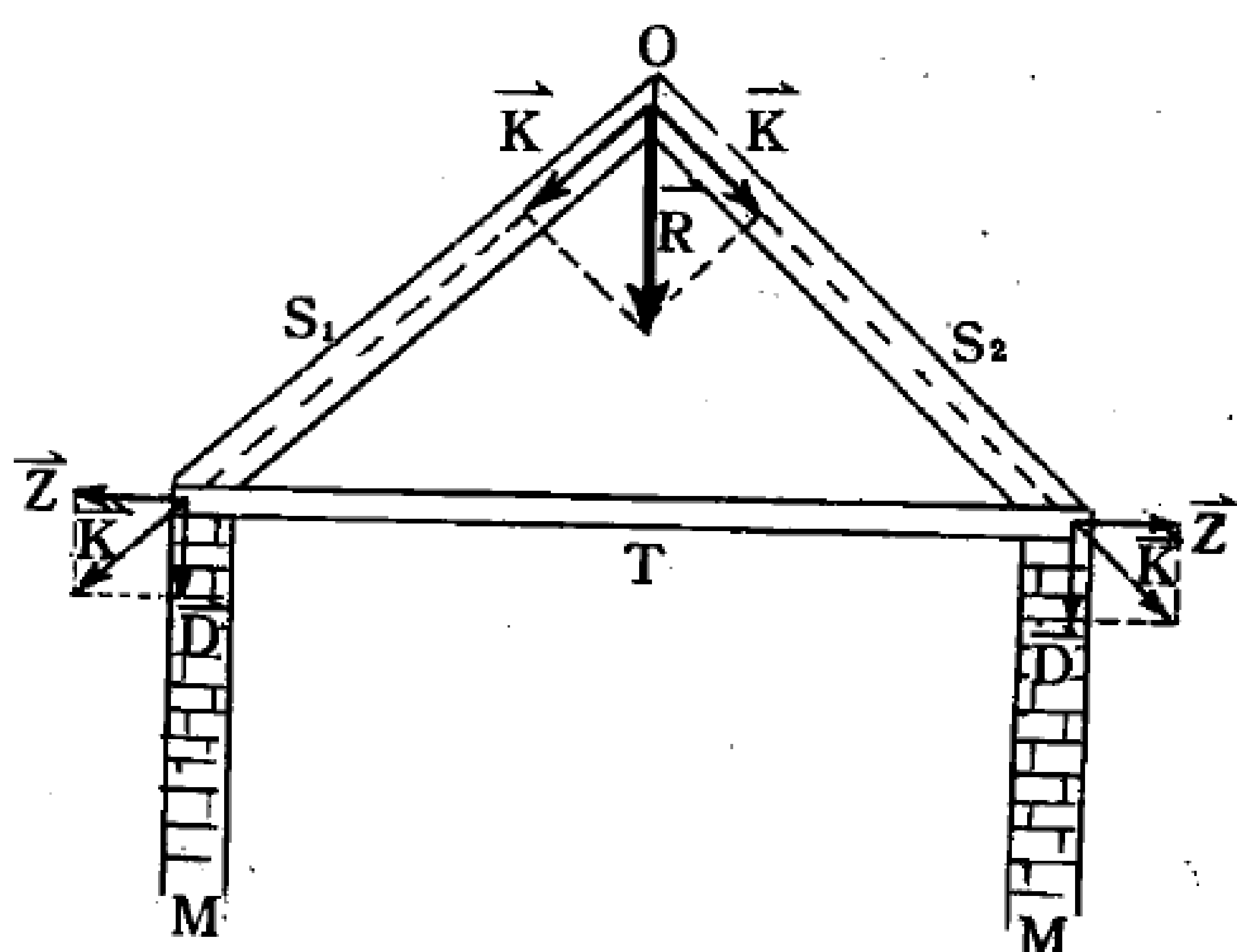


圖 2 — 27
屋頂架上的力之分解

就可以看出結果一定是$\overrightarrow{D}=\overrightarrow{R}/2$。

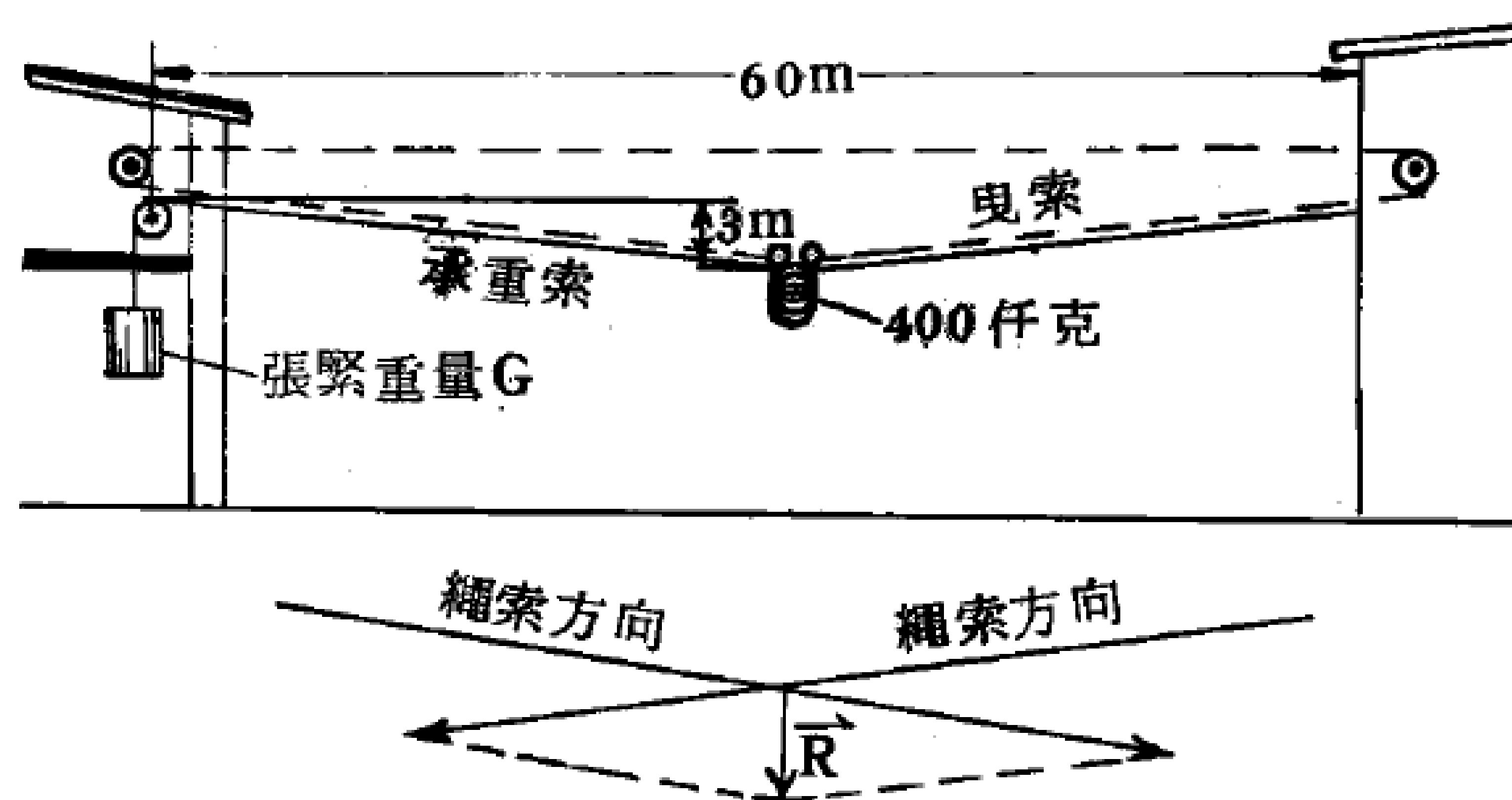


圖 2—28　索道上的承重索與張緊重量之計算

5. 設在一工廠建築物通至另一建築物之間，利用承重索來裝置一運輸設備（圖2—28），另用一稱爲“曳索”之比較細些的繩索，將一載重車（$R=400$仟克重）在承重索上拉來拉去。承重索之一端係固定在一建築物之牆壁上，另一端於經過一滑輪後，則懸有一重量，作爲張緊繩索之用。當載重車在承重索上行過時，繩索在中央之垂懸程度大小，悉按此種張緊重量之大小而定。承重索兩端之間相距 60 米，設如發生 3米之垂懸時，張緊重量又應爲若干？爲了解答這一問題，我們首先用縮小的比例尺，畫成所希望之設施，並由此得到兩個繩索方向。然後就可以從一個特别繪製的圖上，自負荷$\overrightarrow{R}$之下部端點分向左右各繪一根平行於繩索方向之直線；由這樣繪成之力之平行四邊形，就可以求得在繩索上作用之應力。設R之長度爲 40 厘米，而每一厘米代表 10 仟克重，即可求得應力爲 200 厘米，也就是等於 2,000 仟克重。在張緊之重量亦應爲同一大小。

6. 一斜立之梯子，其下端梯階A處或上端梯階A'處，設有一人站在上面，其重量爲$\overrightarrow{R}$（圖2—29），$\overrightarrow{R}$可被分解爲平行於$\overrightarrow{R}$，以及彼此之間亦屬平行的兩個力量$\overrightarrow{K_1}$及$\overrightarrow{K_2}$，各自著力於B點及C點，兩者之比例爲$AC:AB$，兩者之和爲$\overrightarrow{K_1}+\overrightarrow{K_2}=\overrightarrow{R}$。玆將$\overrightarrow{K_1}$之著力點$B$移至$H$點，使$\overrightarrow{HL}=\overrightarrow{K_1}$；再將$\overrightarrow{CD}=\overrightarrow{K_2}$分解爲垂直於牆壁和沿著梯子

的兩個力量$\overrightarrow{CE}$和$\overrightarrow{CF}$，於是$\overrightarrow{CE}$為壓向牆壁之壓力，$\overrightarrow{CF}$ 則為經由梯子傳到地面上的壓力，並著力於B點，而$\overrightarrow{CF}$則與$\overrightarrow{BG}$ 相等。現在，又可以將$\overrightarrow{BG}$在垂直於地面和沿著地面的方向上，分解為$\overrightarrow{BH}$和$\overrightarrow{BJ}$ 。從繪有陰影線的兩個全等三角形CDF及BHG中，可以看出$\overrightarrow{CD}=\overrightarrow{BH}=\overrightarrow{K_2}$和$\overrightarrow{FD}=\overrightarrow{GH}$這兩種關係。後一方程式與$\overrightarrow{CE}=\overrightarrow{JB}$ 初無二致。此時，$\overrightarrow{BH}=\overrightarrow{K_2}$和$\overrightarrow{HL}=\overrightarrow{K_1}$ 這兩個力量，遂作用於B點，並都取得向下之方向，結果遂得合力$\overrightarrow{K_1}+\overrightarrow{K_2}=\overrightarrow{R}=\overrightarrow{BL}$。

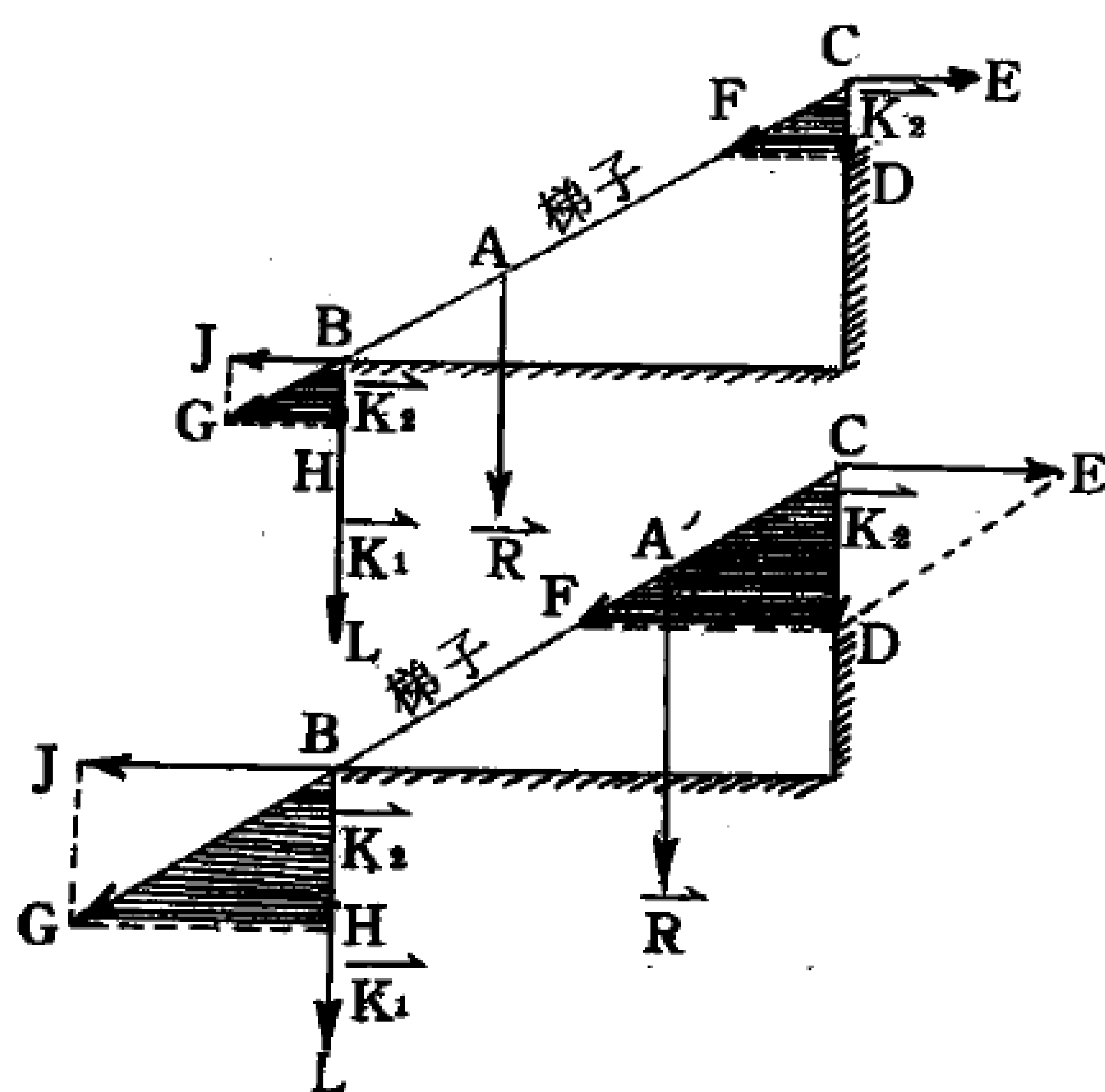


圖 2 — 29　梯子上的力之分解

如此，人站在梯子下部（ A ）處和站在梯子上部（ A′)處的力之分解便都完成了。但是結果怎樣呢？答案是，原有之力$\overrightarrow{R}$變成了三個力量，那就是B處之$\overrightarrow{BL}$和兩個彼此相等的力量：C處之$\overrightarrow{CE}$ 和B處之 $\overrightarrow{BJ}$。$\overrightarrow{BL}$ 為受有負荷的梯子對地面之壓力。此壓力在兩種情形下，均等於人體的重量$\overrightarrow{R}$，所以與人站在梯子上的位置無關。而$\overrightarrow{CE}$則與$\overrightarrow{BJ}$ 組成了一力偶，此力偶試圖移動梯足B點，這就是說使梯子滑溜。如同圖2—29兩圖所示，人站在梯階之處愈高，$\overrightarrow{CE}=\overrightarrow{BJ}$之值亦愈大 。 所以當我們站在梯子的上部時，比較容易滑溜。

【 II 】操縱設備上的力之分解

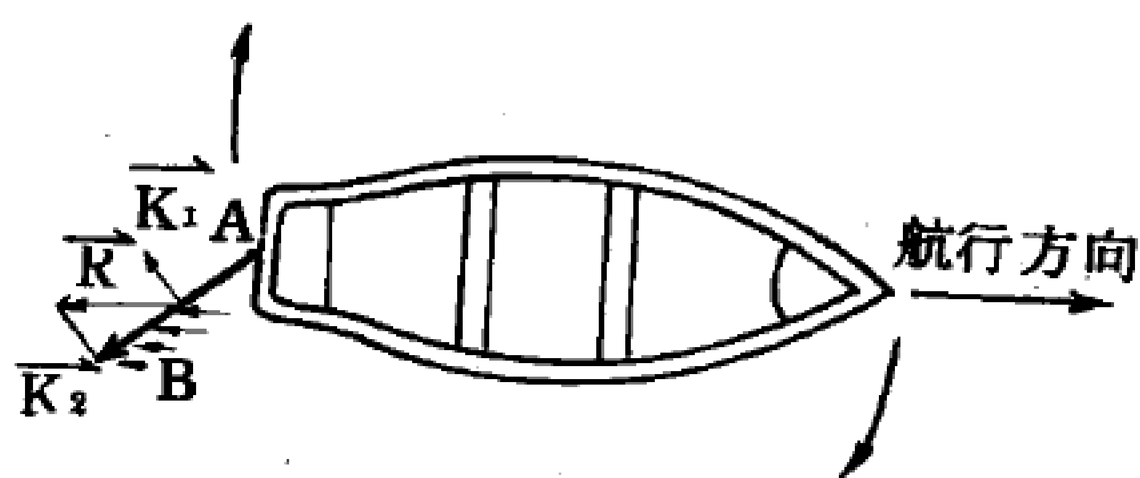


圖 2 — 30　船舵上的力之分解

力之分解，對船舶、潛艇、氣艇、飛機之操縱設備以及魚類

的轉向，莫不具有重要之用途。

1. 方向操縱之作用，在於能使在空中或水中航行之交通工具改變其運動方向。在圖2—30中，舵面$\overline{AB}$ 可以繞一垂直軸A轉動；當船隻航行時，水或空氣撞擊在舵面上的壓力，其作用與船之方向正係相反。總壓力$\overrightarrow{R}$乃分解為兩個分力：一為垂直於$\overline{AB}$之$\overrightarrow{K_1}$，另一為沿著$\overline{AB}$之$\overrightarrow{K_2}$。水沿著舵面之$\overrightarrow{K_2}$方向滑去，只有$\overrightarrow{K_1}$才能使船尾旋轉，因而使整個船隻循著順時針方向而轉動。

2. 高低操縱之作用，在於能使氣艇及飛機航行得更高或更低（圖2—31），其因飛行所引起之風的壓力，可循相反之方向，作用在一繞著水平軸而轉動的舵面上。設以$\overrightarrow{R}$代表舵面上所受到的此一總壓力，則$\overrightarrow{R}$可分解為垂直於舵面與平行於舵面的二分力$\overrightarrow{K_1}$及$\overrightarrow{K_2}$。從圖2—31(*a*)上可以看到，氣艇之尾部會被$\overrightarrow{K_1}$壓向下方，因此而將氣艇之首端稍許擡高，氣艇乃隨之而昇高。在圖2—31(*b*)上，飛機之舵面乃經如此之安排，使得流向舵面之風力產生一個斜著向上作用的分力$\overrightarrow{K_1}$。此分力可將機尾擡高，因此而使機首下俯，飛機乃隨之而下降。

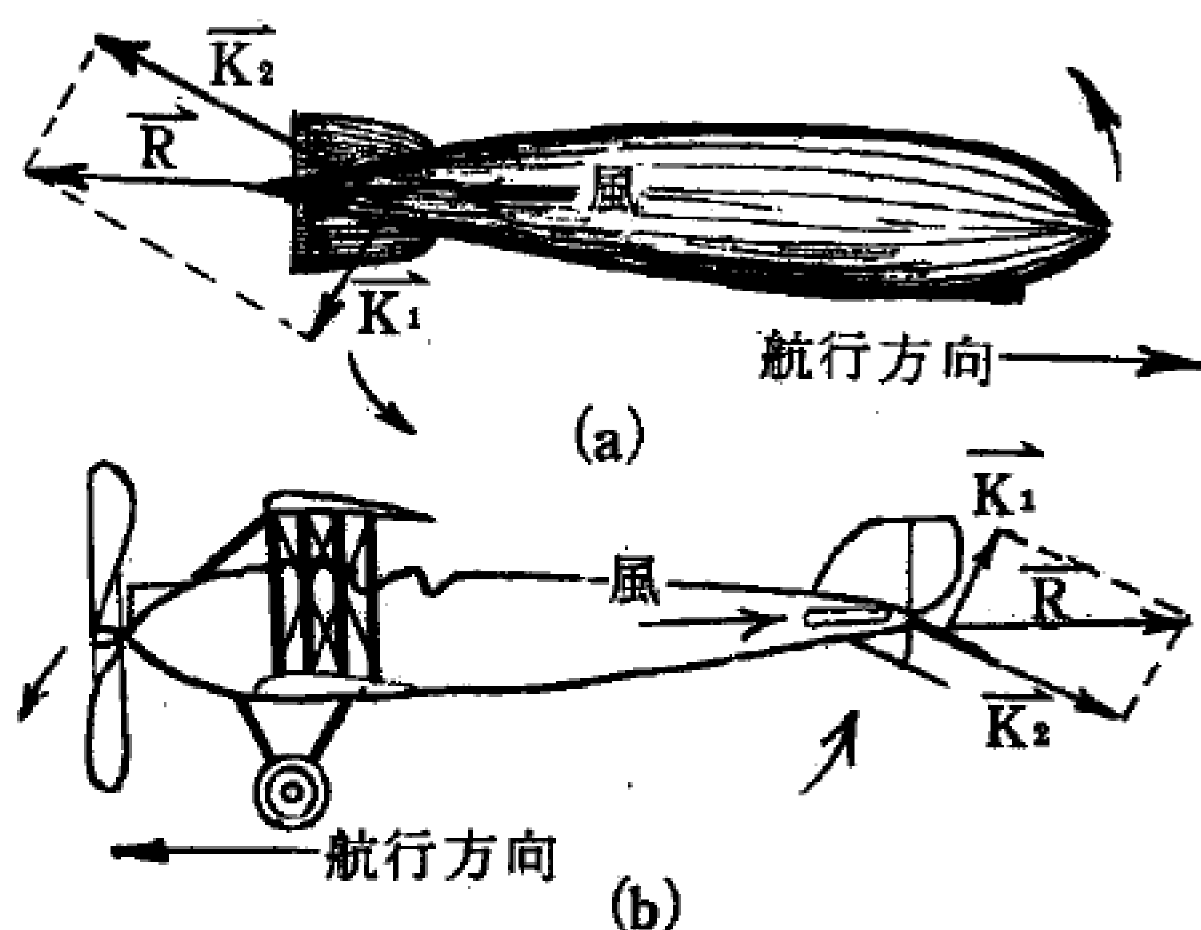


圖2—31 高低舵上的力之分解

【Ⅲ】帆船、風箏、飛機及滑翔機上的力量

1. 帆船——操帆術可對我們提供一個力之重複分解的例子。如圖2—32 風之壓力$\overrightarrow{R}$斜著作用在帆面上，可引起一垂直於帆面的分壓力$\overrightarrow{K_1}$和一順著帆面方向流過的分力$\overrightarrow{K_2}$。空氣則取$\overrightarrow{K_2}$之方向，沿著帆面滑去。分力$\overrightarrow{K_1}$又分解成一個在龍骨方向上的力量$\overrightarrow{Y}$和一個與這方向垂

直的力量 $\vec{X}$。$\vec{Y}$ 可驅船前進，$\vec{X}$ 則推船偏向側方。由於水面對船之側向橫行所生之阻力遠比對前進運動所生者要大得多，所以分力 $\vec{X}$ 只有極小的一部分始和產生運動有關。此一分力 $\vec{X}$，雖可造成航線之偏差，但可由船舵來抵銷而斜正之。只有 $\vec{Y}$ 才眞正是在龍骨方向上之推動力量。所謂操帆技術，乃在於能本著已有的一種風向，如何去獲得最大的分力 $\vec{Y}$。帆船不僅能順著風向（“ 順風 ”）行駛，或者經由風力與船舵的組合作用，沿著一種與風向構成銳角的方向行駛，並且也能在一鈍角的方向上行駛，也就是說頂著風向（“ 頂風 ”）行駛。不過，正對著逆風時（ $\alpha = 180°$ ），則帆船不可能行駛。

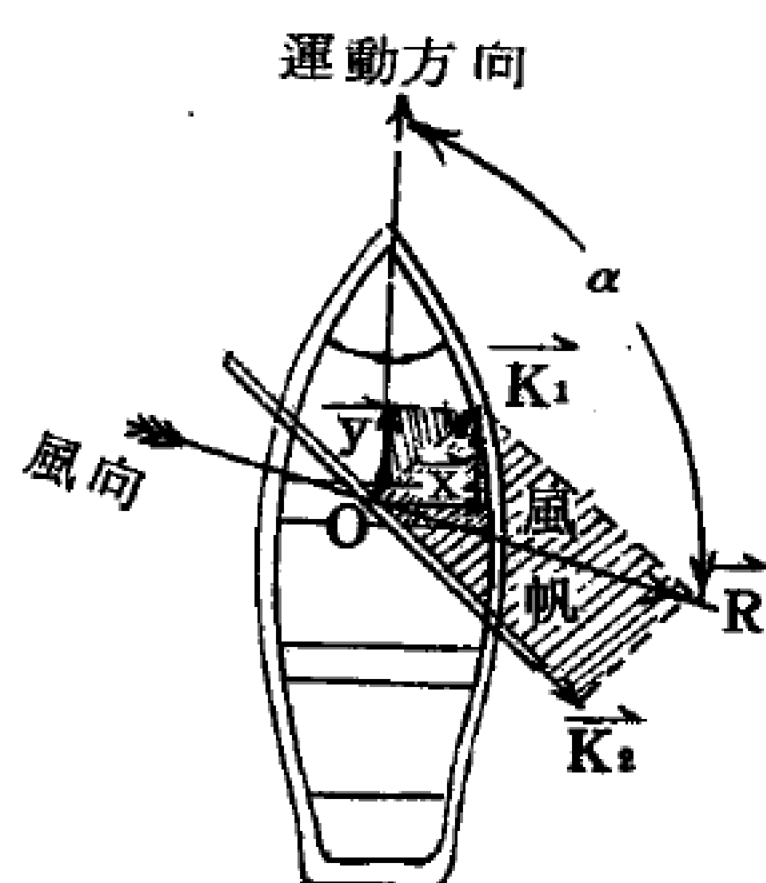


圖 2 — 32
帆上的力之分解

2.風箏——對於作用在傾斜風箏面的風力 $\vec{R}$，實際上是被分解為一個垂直於風箏面的壓力 $\vec{K_1}$ 和一個第二力 $\vec{K_2}$。壓力 $\vec{K_1}$ 實為若干部分壓力之中力。這些分佈在風箏上的部分壓力，處處都是和風箏面垂直的，此乃由於風箏上面的吸取作用及風箏下面的壓迫作用所造成。根據研究結果，作用於風箏平面前端，也就是迎風一端上的部分壓力，要比作用於其後端者來得大些，如圖 2 — 33 (*a*)。因此，這些部分力量

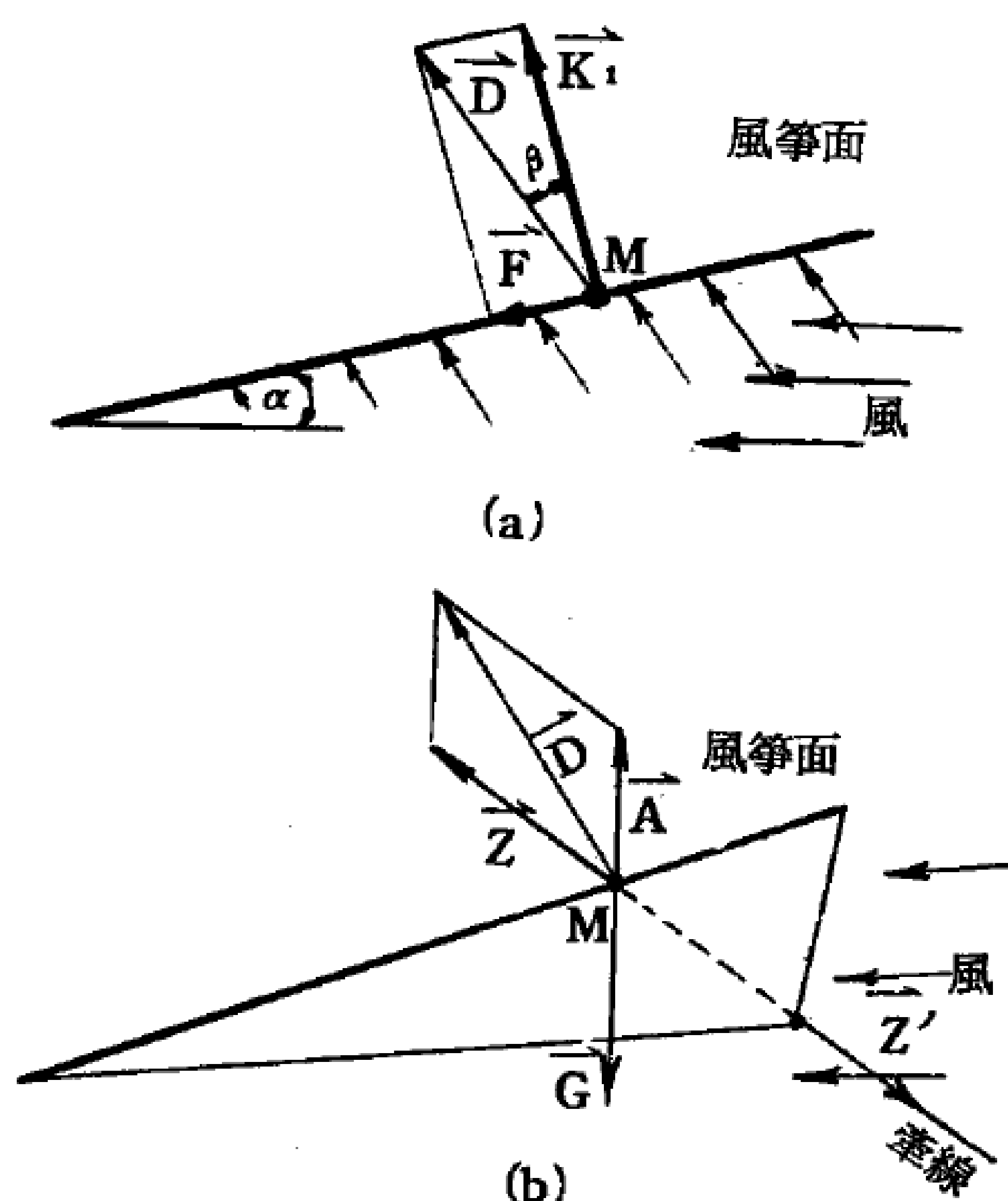


圖 2 — 33 作用在飄懸風箏上之諸力

的中力之著力點M，並不位於風箏面的中心，而在靠前端一點。風箏面的傾斜角度α愈小，M點就愈爲靠近迎風的前端。沿著風箏下面滑過的空氣，在風箏上並非毫不產生任何力之影響，而是會在風箏面上遇到一種摩擦阻力，這就是說，這一部分空氣會以某種力$\vec{F}$，攜同風箏沿著風箏平面方向斜著向下。$\vec{K}_1$及$\vec{F}$合成一總壓力$\vec{D}$，我們稱之爲動壓力。總壓力$\vec{D}$並非垂直於風箏平面，而是經常偏斜向後，與風箏平面的法線($\vec{K}_1$)之間相差一微小的角度β。

作用在壓力中點M上的力，除了風箏牽線的拉力$\vec{Z}'$以外，尙有風箏的重量$\vec{G}$如圖2—33(*b*)。因此，M點同時亦爲重心所在。$\vec{D}$可被分解爲二分力，那就是垂直的浮力，亦即所謂動浮力者，以及沿著牽線方向之動阻力$\vec{Z}$。爲使風箏飄懸，浮力$\vec{A}$須能與重量$\vec{G}$相抵，牽線拉力$\vec{Z}'$須能與動阻力$\vec{Z}$相抵始克有濟。如果是$\vec{A}>\vec{G}$，便會發生風箏上昇之現象。

3. 飛機——飛機係由螺旋槳推動前進。此一前進運動卽在飛機翼面上，造成一股迎面而來的風，其結果足以使飛機產生一種通過重心點S的動力$\vec{D}$，如圖2—34(*a*)。$\vec{D}$又分解爲二分力，那就是垂直向上作用之動浮力$\vec{A}$和另一水平的動阻力$\vec{Z}$，後者之方向係與航行方向相反。當飛機循水平方向直線向前飛行時，整個飛機的重量$\vec{G}$便被浮力$\vec{A}$所抵銷，而動阻力$\vec{Z}$以及所有其他部分的阻力則被螺旋槳引力$\vec{Z}'$所抵銷。如果是$\vec{A}<\vec{G}$，飛機便會低降。如果是$\vec{A}>\vec{G}$，則上升。在後一情形下，$\vec{A}$減去$\vec{G}$之後所剩餘之力量卽和螺旋槳

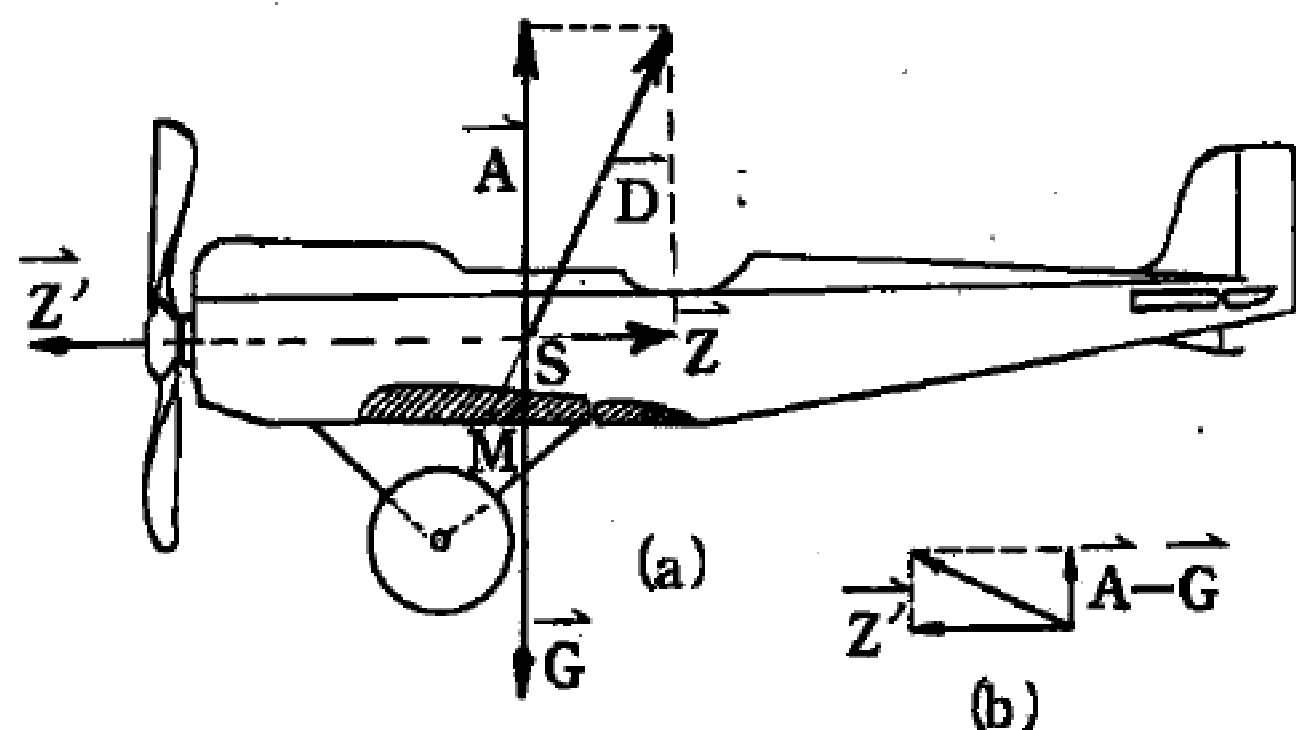


圖 2—34
作用在直線向前航行之飛機上的諸力

引力$\overrightarrow{Z}'$組成一合力，將飛機斜著推向上方，見圖 2 — 34 (*b*)。

4.滑翔——若讓一張明信片從斜置的手面上滑下，則明信片會經過幾次顛轉而墜落地面。這是因爲動壓力$\overrightarrow{D}$之著力點M未能與明信片之重心S重合，所以產生出一種轉矩所致（在斜置的平面上，動壓力會略向前移）。我們倘用一兩個廻紋夾子，在向前的一邊加以適當的重量，使重心S向前移動到與M點重合在一起，那麼明信片便可滑翔著地。此時，重量$\overrightarrow{G}$與動壓力$\overrightarrow{D}$均作用於M點，遂合成爲產生運動的合力$\overrightarrow{B}$，見圖 2 — 35。

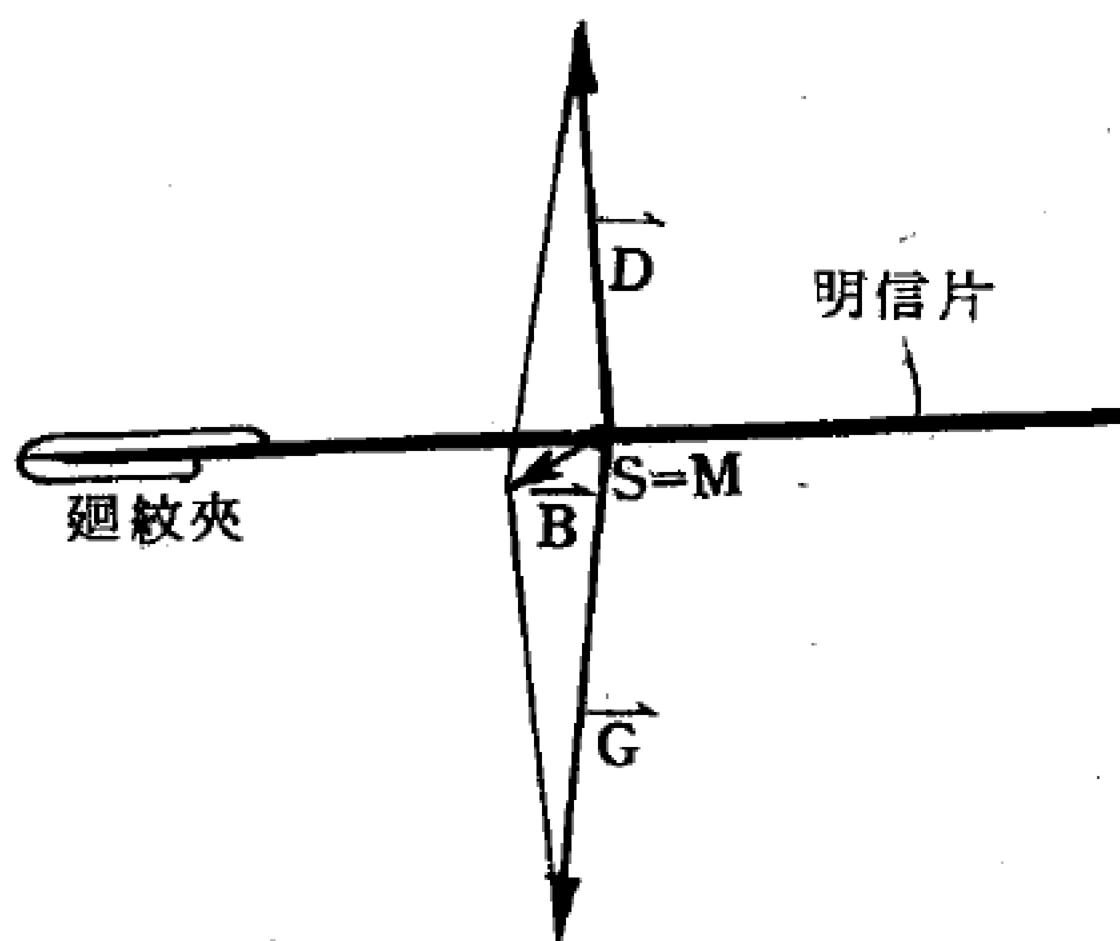


圖 2 — 35　明信片之滑翔

【力之可傳性】(Transmissibility of force)

加於剛體之力，其作用點亦可視爲在其作用線上之任何一點，而不必限於力與體面接觸之處。此原則常稱爲力之可傳性。如對棒、或張緊之繩的一部分加力時，加在一端的力，會原原本本傳到另一端去。

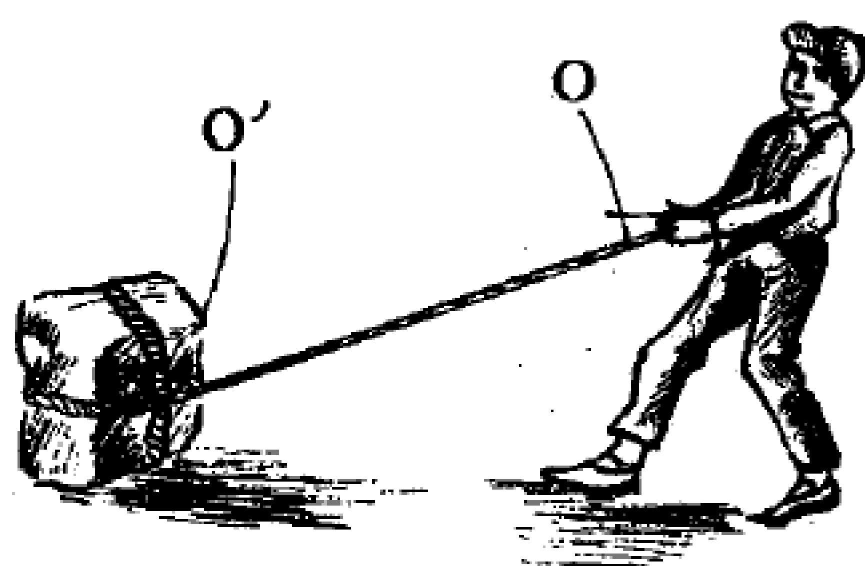


圖 2 — 36　力可由繩子傳達

如圖 2 — 36 所示，用繩拉物體時，人的施力點雖然在O上，但把作用點當做是在O'時，力的效果還是一樣。故力的作用點，可以在作用線上移動。又如繩子拉緊，通過滑輪使方向改變，力還是同樣可以傳過去。

【力之平衡】(Equilibrium of force)

【Ⅰ】靜力平衡

有許多力作用於同一物體，但物體仍能保持靜止不動時，可以說這些力在相互平衡的狀態下，即是諸力達靜力平衡。物體平衡的條件：(1)諸力的合力爲零。(2)諸力矩的代數和爲零。

【Ⅱ】可轉體上之力之平衡

倘使有一剛體廻繞著一固定軸 AB 而轉動，則剛體上每一點 P 之軌跡，必成一圓形，且此圓必位於一垂直於軸線之平面內。現在我們不妨設想，在這樣的一個平面上，有一力 $\overrightarrow{K}$ 作用於剛體上。除了此力之作用方向，係通過 AB 軸線的 O 點以外，在其他的情況下，該剛體卽順著此力之作用方向而轉動，如圖 2 — 37 (a) 。當力之作用方向通過 O 點時，則該力只能在軸線上，發生壓力或拉力作用，而不能轉動該剛體，如圖 2 — 37 (b) 。

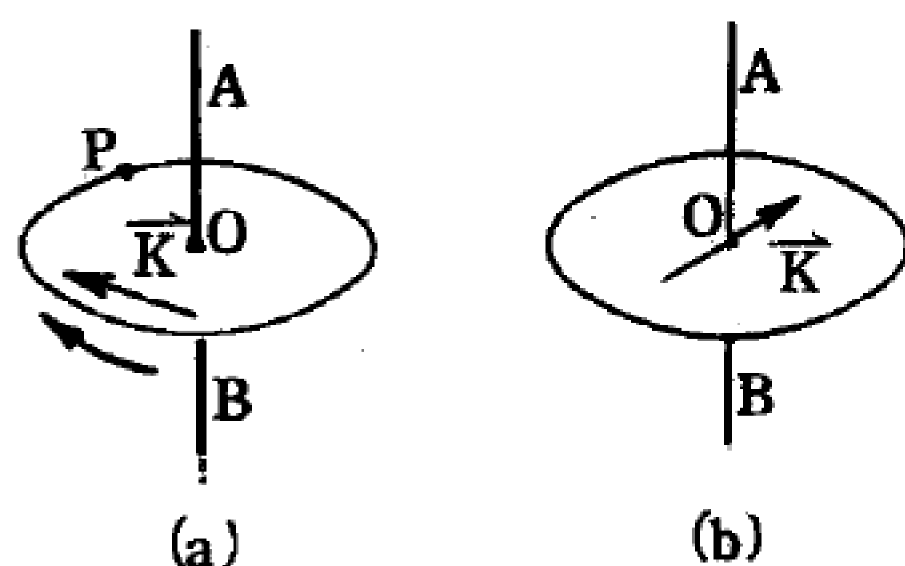


圖 2 — 37
如果力之作用方向，在軸線之側通過，則發生轉動。如果正好通過軸線則達到平衡狀態。

在一般情形下，位於一個平面上的二力，其對於一個自由運動的剛體所發生的效果，是要使整個剛體依循其合力之方向前進，因而也就使剛體上的各點，作平行的直線運動。但由於剛體受制於轉軸，僅能作旋轉運動的關係，故其前進運動顯然會受到阻礙。

如果 $\overrightarrow{K_1}$ 與 $\overrightarrow{K_2}$ 二力之合力 $\overrightarrow{R}$，在轉軸的一旁通過，那麼結果便可使物體發生轉動。其效果就好像是只有一個合力 $\overrightarrow{R}$，在使物體轉動似的。反之，如果合力 $\overrightarrow{R}$ 剛好是通過軸心 O 點，如圖 2 — 38， 則其效果（也就是等於 $\overrightarrow{K_1}$ 與 $\overrightarrow{K_2}$ 的共同效果）就

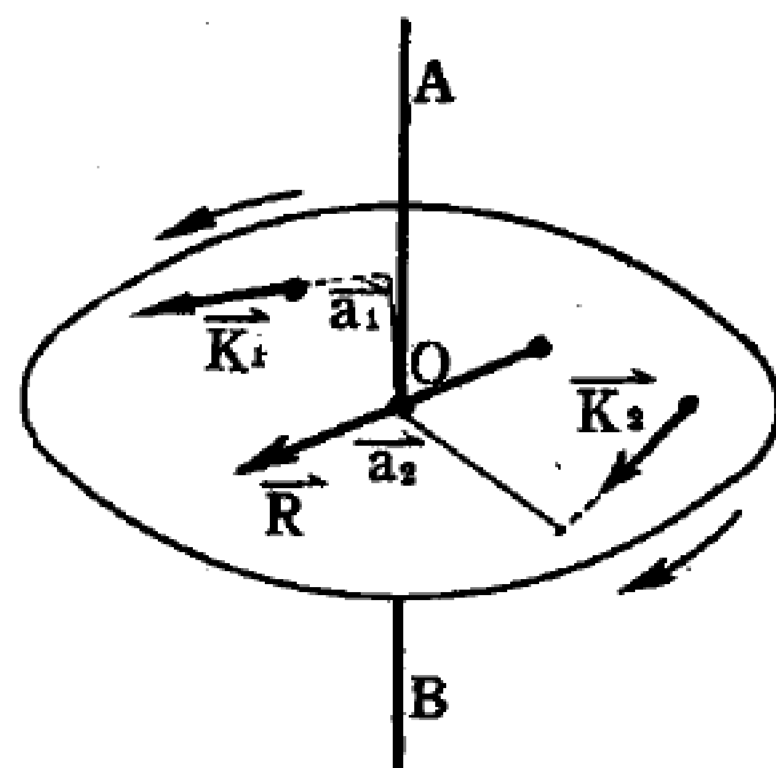


圖 2 — 38
彼此不平衡的二轉動力之平衡

會被轉軸的反作用所抵銷，於是物體就歸於靜止。根據這一點，我們可以作成這樣的結論：當$\vec{K_1}$及$\vec{K_2}$二力具有促使物體朝著相對方向旋轉之傾向時，則該二力之轉動能力殆非彼此形成平衡不可。

關於上述可轉物體上二力形成平衡這一重要情形，我們現在可以替它建立起一條定律了。物體的轉動軸心O點，既然是在合力的作用線上，那麼依照力矩定律，以該點爲中心的$\vec{K_1}$及$\vec{K_2}$二力，必定是具有同一轉矩的，換言之，$\vec{K_1} \times \vec{a_1} = \vec{K_2} \times \vec{a_2}$這一方程式必定是能夠成立的，其中$a_1$及$a_2$所代表者爲$\vec{K_1}$及$\vec{K_2}$二力與$O$點所造成之距離。因此，可以將上面的分析，歸納成如下的定理：

作用於具有轉軸之可轉體上之二力，當其位於與轉軸互成垂直之平面內，而且彼此取得平衡時，則該二力便各具有使物體朝著相對方向轉動之傾向，且其以轉軸爲中心之二力矩必係彼此相等。如果我們將上述定理反過來說，亦屬同樣正確：當二力位於與轉軸互成垂直之平面內，且其以轉軸爲中心之轉矩大小相等，而方向相反時，則該物體必定是處於平衡狀態之下。

【力之合成】(Composition of forces)

如圖 2－39 ，以$\vec{p}$、$\vec{q}$二力同時作用於一靜止質點O，則二力相合，而使O點取$\vec{OR}$方向運動，即O點受$\vec{p}$、$\vec{q}$二力作用之結果，與受一力延$\vec{OR}$者同，而$\vec{OR}$之力之大小，等於由$\vec{p}$、$\vec{q}$二力所成之平行四邊形$OBRA$之對角線長，此$\vec{r}$之力，謂之$\vec{p}$、$\vec{q}$二力之合力，而$\vec{p}$、$\vec{q}$謂之$\vec{r}$之分力。

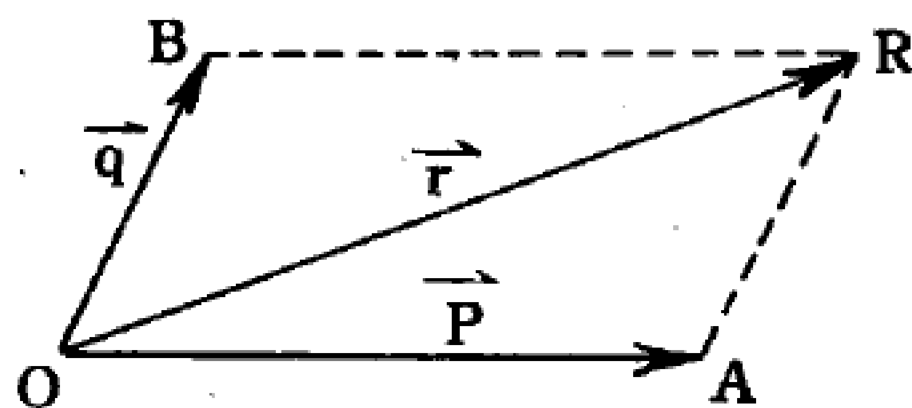


圖 2 － 39

力之中斜法——以數力作用於一物體，則物體取其合力之方向運動，求合力之方向及大小，用中斜法最便，即任取二力，作平行四邊形之二邊，求其對角線，則得此二力之合力。復以此對角線與其餘之任一力

，爲平行四邊形之二邊，求對角線，則得此三力之合力，如是逐次求之，則得各力之合力。

簡而言之，力之合成乃是計算由多數分力作用於同一點時所組成之合成力之一種方法。

參閱“力之分解（*Decomposition of force*）”條。

【力之作用點】（**Point of application of force**）

詳閱“力之三要素（*Three factors of force*）”條。

【力之單位】（**Unit of force**）

力的大小，習慣上用重量的單位 *g*（或 *g* 重）、*kg*（或 *kg* 重）等表示。

如圖 2－40 所示，在彈簧秤掛 100 *g* 的砝碼時的伸長長度與用手拉彈簧秤的伸長長度相同時，手的拉力便與 100 *g* 的重力大小相同。

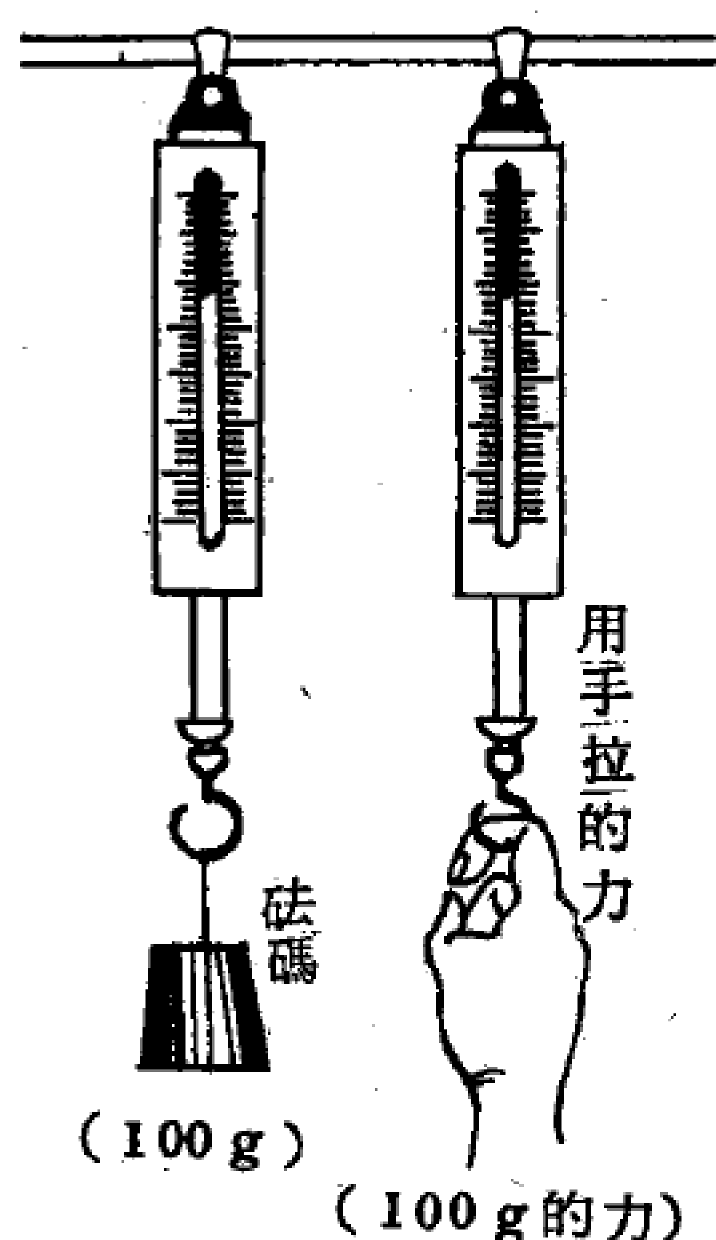


圖 2－40

因此，與100*g*的重量同樣作用的力，就用 100 *g* 的力（或 100 *g* 重的力）來表示。但實際上，克、仟克均爲質量的單位，克重或仟克重等重量單位是屬於力之一種重力的單位，不能代表全部，且在計算上數值不同，無法表示出來，故有力之絕對單位。

1 達因＝使 1*g* 的物體產生 1 cm/sec^2 的加速度的力。而 1*g* 的物體自由落下時其重力加速度爲 980 cm/sec^2；所以 1*g* 重＝980 達因。1 牛頓＝使 1*kg* 的物體產生 1m/sec^2的加速度的力。1 *kg*重≒9.8牛頓。

參閱“力之絕對單位（*Absolute unit of force*）”條。

【力之絕對單位】（**Absolute unit of force**）

依牛頓力學的定義：力＝質量×加速度（$\vec{F}=m\vec{a}$）

其在C.G.S.制中爲達因：$dyne = gram \times cm/sec^2$

M.K.S.制中爲牛頓：$newton = kilogram \times m/sec^2$

F.P.S.制中爲磅達：$poundal = lb \times ft/sec^2$

參閱“力之單位（Unit of force）”條。

【力定律】（Law of force）

即牛頓的第二運動定律，其意爲“線性動量的改變率與合力成正比，並且是沿著此力的方向而運動”。

即 $$\frac{\Delta(m\vec{V})}{\Delta t} \propto \vec{F}$$

或 $$\vec{F} = R\frac{\Delta(m\vec{V})}{\Delta t}$$

如果質量m是常數，此式可化爲

$$\vec{F} = km\frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t} = km\vec{a}$$

此式是我們所經常用的，而k爲任意常數，只和所用單位有關。在一般情況下，我們定它爲1。

【力矩】（Moment of force）

若施力F於A，力沿AB方向作用，取點O，由O至線AB的垂直距離爲p，則定義力F對點O的力矩$\vec{\tau}$爲

$$\vec{\tau} = \vec{P} \times \vec{F}$$

上式所定義者也是對過點O垂直平面OAB的直線OC的力矩。若力F施於物體上，則此物體將繞此直線OC轉動，如圖2－41所示。

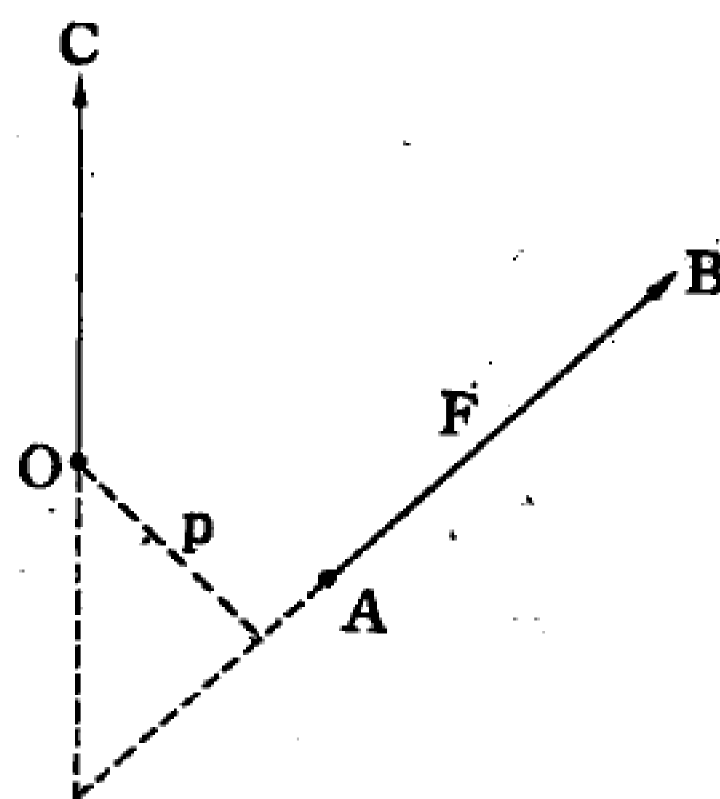


圖2－41　力矩

開重的門時，如在靠近軸處施力需要較大的力量，而在離軸越遠處施力，則所用力越小。又用螺絲扳手扭緊螺絲時，扳手柄愈長所需力量

愈小。同時施力的方向，以垂直於門或柄較佳，如圖 2 — 42 。

就像這樣，欲使物體旋轉的作用，不僅與所加力之大小有關，而且與旋轉中心至施力點之距離，及力的方向會產生不同之結果。

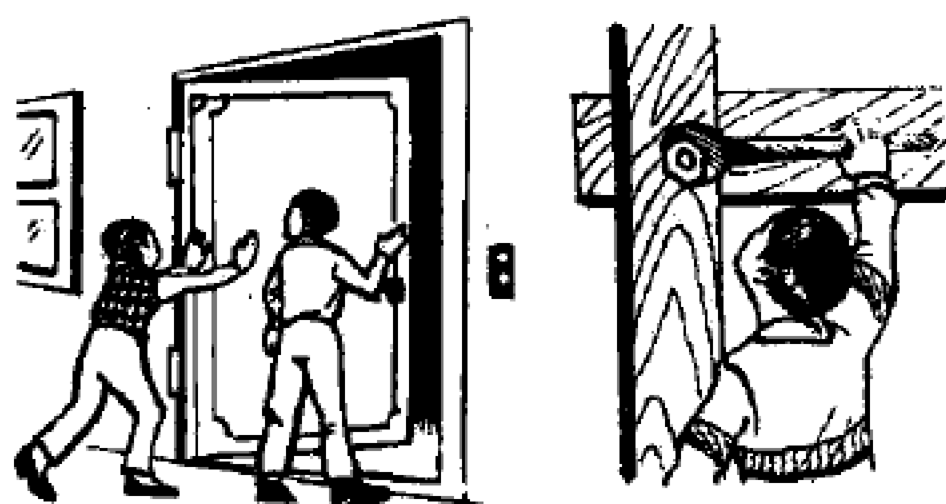


圖 2 — 42　力矩的應用

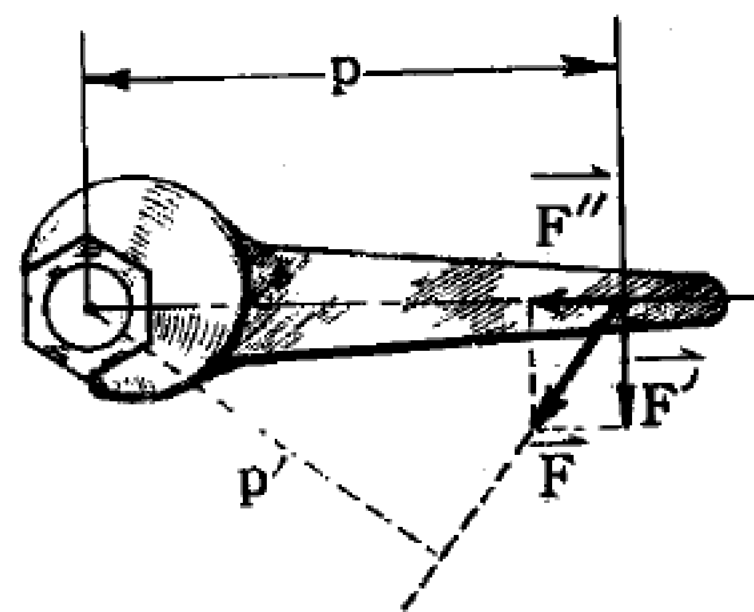


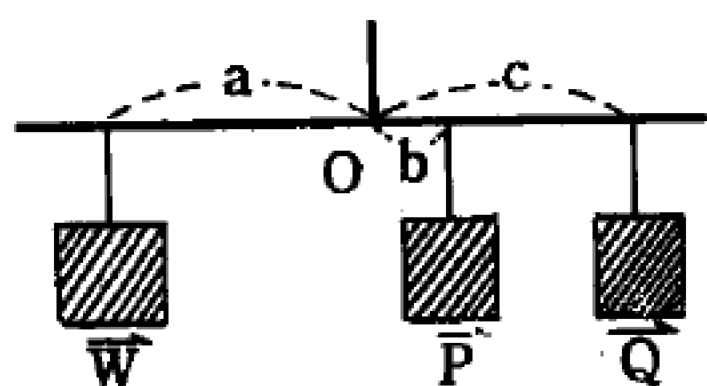
圖 2 — 43　力作用於斜方向時

如圖 2 — 43 所示，對螺絲扳手的柄加斜方向的力 $\vec{F}$ 時的力矩爲 $\vec{F} \times \vec{p'}$（因力臂長爲 p'）。

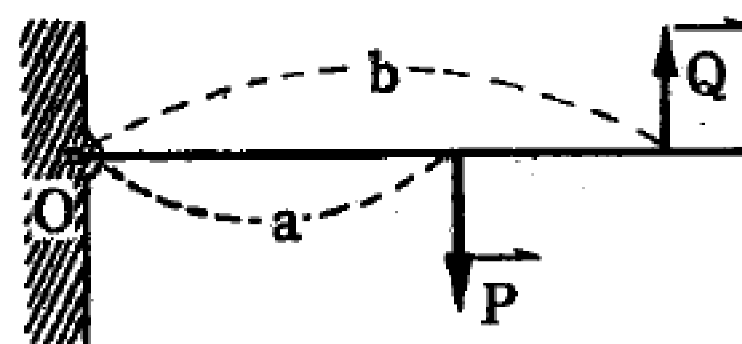
又如把力 $\vec{F}$ 分爲垂直於扳手的分力 $\vec{F'}$，與平行於扳手的分力 $\vec{F''}$，則因 $\vec{F''}$ 沒有使扳手旋轉的作用，所以使扳手旋轉的力只有 $\vec{F'}$，力矩的大小便是 $\vec{F'} \times \vec{p}$。

雖然，想法不同，欲使扳手旋轉的力矩大小不變，這些之間便有 $\vec{F} \times \vec{p'} = \vec{F'} \times \vec{p}$ 的關係。

又如圖 2 — 44 (a) 所示，在槓桿的支點的一側，吊兩個錘與另一側的 $\vec{W}$ 達成平衡時，由 $\vec{P}$ 所形成的力矩與 $\vec{Q}$ 所形成的力矩的和，$\vec{P} \times \vec{b} + \vec{Q} \times \vec{c}$ 與 $\vec{W}$ 所形成的力矩 $\vec{W} \times \vec{a}$ 相等。



(a)



(b)

圖 2 — 44　力矩的和與差

所以，在支點的一側有向同一方向旋轉的傾向之數個力作用時，(

全爲正力矩或全爲負力矩）同方向的總力矩等於各力矩的和。

又如圖 2 — 44 (b)所示，在支點的同一側有正力矩 $\vec{Q} \times \vec{b}$ 和負力矩 $\vec{P} \times \vec{a}$ 時，對支點言，所受的總力矩等於負力矩與正力矩的差 $\vec{P} \times \vec{a} - \vec{Q} \times \vec{b}$。

因此，槓桿定律也可以力矩作如是的說明“在支點的周圍有要旋轉的數力作用時，這些力對支點所有的正力矩的和，等於所有的負力矩的和時，槓桿即達平衡”。

力矩之單位可以力之單位與長度之單位重疊名之；例如：達因厘米（*dyne-cm*），牛頓米（*newton-m*）等。

【力偶】（Couple）

方向相反、大小相等的二平行力，稱爲力偶。其合力爲零，故不能使物體移動，僅能使物體轉動。平常旋轉螺旋釘或用鑰匙開發條（彈簧）及轉動汽車的輪盤等，須用兩指或兩手挾住柄的兩端，用力旋轉，如圖 2 — 45 所示，就是利用力偶的原理，使二個力矩同時向同一旋轉方向作用；如此對軸而言比單獨用一個力旋轉來得方便，所以這種旋轉較爲均勻。

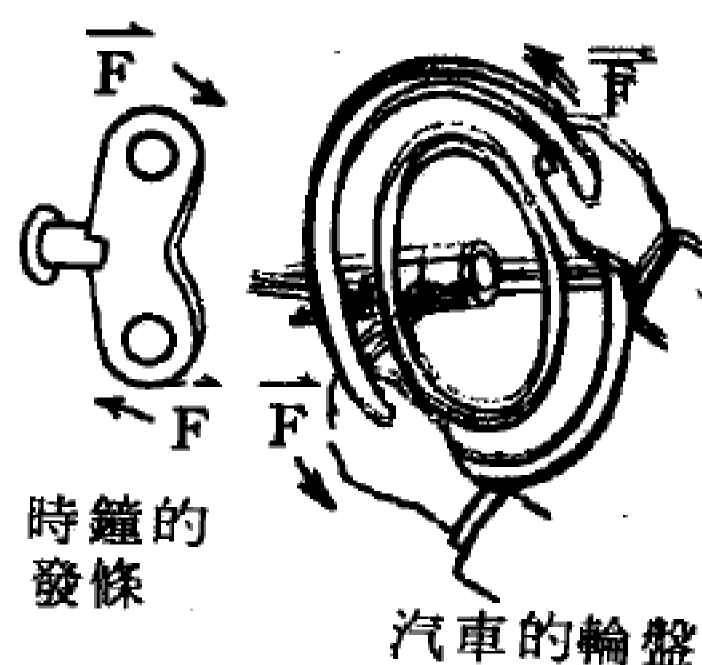


圖 2 — 45　力偶

力偶的力矩大小，由圖 2 — 46 可知

$$\vec{F} \times \frac{1}{2}\vec{a} + \vec{F} \times \frac{1}{2}\vec{a} = \vec{F} \times \vec{a}$$

即以二力的作用線之間的距離與一個力的乘積來表示。力偶之作用效果，係隨力與力偶臂之大小而增減。

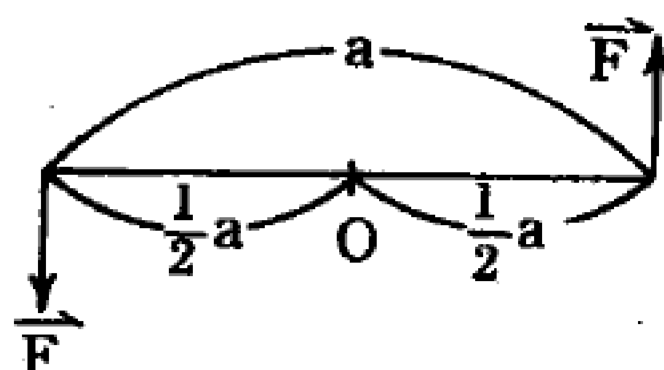


圖 2 — 46

二對力偶，雖然其力與力偶臂之大小彼此並不相等，但如其所造成之轉矩彼此相等，則該二對力偶便具有同樣的作用，而且它們所產生的

轉動效果也就一樣。

【力偶矩】(Moment of couple)

力偶之一力之數值與臂之乘積，即力偶矩。常稱為力偶之強度(*strength of couple*)。

【力偶臂】(Arm of couple)

力偶之二力 $\vec{K}$ 之間的垂直距離 a，如圖 2—47 所示，稱為力偶臂。

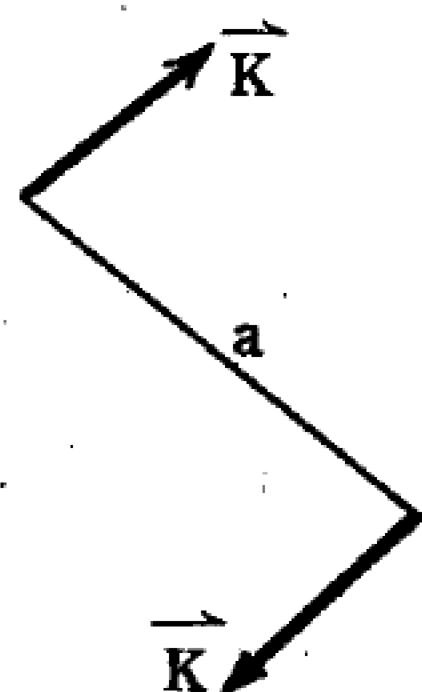


圖 2 — 47
力偶的標示方法

【力場】(Field of force)

電荷與電荷間的作用力，磁鐵與磁鐵間的作用力，以及物質與物質間的萬有引力等皆為超距作用，所有這些現象都可以一力源所生的力場描述之。每單位試驗質點(如單位電荷、單位磁極、單位質量)所受的力是該質點所在位置的向量函數。亦即每單位試驗質點所受的作用力在每一可能位置均有固定的大小及方向。所有這些力的向量，或位置的向量函數，稱為力場；如“重力場”、“電力場”、“磁力場”、“核力場”等。

【力程】(Range of force)

力場作用的有效範圍稱為力程。以力程的大小可分力為兩大類：

1. 短程力(*short range force*)即力的作用範圍很小，影響力隨距離的增加而急速減小。如核子間的核力，在 10^{-13} 厘米的距離內作用力甚強，超過該距離後則可忽略不計。

2. 長程力(*long range force*)是隨距離的增加而緩慢減少，如靜電力、萬有引力等平方反比力均是。

【力線】(Line of force)

通常指的是磁力線或電力線。欲觀察磁力線可將鐵屑散佈在置於磁鐵上的紙板或玻璃板上，鐵屑就自相銜接連成一組曲線，表明磁性作用下的場力，這些顯示磁場的曲線即為磁力線。

【力學】(Mechanics)

物理學中，處理力對物體的影響的部分，稱爲力學。力學爲最古老的物理科學，其旨在研究物體的各種運動現象。

其中又依處理對象而分爲(1)關於液體的水力學(*hydraulics*)、流體動力學(*hydrodynamics*)、流體靜力學(*hydrostatics*);(2)關於氣體的氣體力學(*pneumatics*);(3)討論剛體、彈性質點或彈性固體的部分。

平常所說的力學主要是指(3)所包括的部分。這其中又分爲運動學、靜力學、動力學。此外，流體力學(*fluid mechanics*)則研討各種流體所適用的基本原理。

在我們四周所觀察到的現象中，最普通而明顯的就是運動。空氣的流動，海洋的波濤，飛鳥的翺翔，動物的奔跑，樹葉的飛落，這些都是運動現象。實際上，所有可以想像得到的一些過程，都可以追溯到某一質點或物體的運動所致。如地球和星球的繞日運轉，電子在原子中運動，產生光的發射和吸收，或者電子在金屬中運動產生一電流，氣體分子運動引起壓力現象;又如計算砲彈路徑或從地球送至火星之太空探測器;分析泡室中形成的軌跡亦然，這些軌跡代表基本粒子的碰撞、衰變和相互作用。所以研究這些軌跡，對基本粒子瞭解當會增加。因此更可見力學範圍之大，應用之廣。

由日常生活經驗，我們知道一個物體的運動，是受其周圍物體的影響，也就是受到彼此間相互作用的影響。物理學家和工程師們最重要的工作就是將物體作一個適當的安排，使得它們在彼此相互的作用之下產生一種運動。在一*TV*管中，一組電子束必須按照一定的方式運動，才能在銀幕上現出一種圖案。在熱機中，燃燒後的燃料的分子也須按照一定的方向運動，才能使一個活塞或渦輪向一個預定的方向運動。一些原子經重新組合，會產生一些新的分子，這些化學反應都是原子運動的結果

。物理學家的任務就是要找出所有這些運動的原因；而工程師的任務就是將物體作有效的安排，以產生有用的運動，來改善我們的生活。

不管相互作用的性質如何，必有一般性的規則或原理可以應用到所有的運動現象上去。這一組原理以及它們所含的理論，就被稱爲力學。

經過對由不同的相互作用所產生的質點運動的性質加以分析和預測後，人們發明了一些重要的概念，如動量、力及能量。如果對它們先有了解，就可以設立一些規則，根據這些規則便可以推測一些運動的結果。所以動量、力和能量是非常重要的，不應用這些概念，簡直就無法分析一種過程的前因後果。

力學，是個運動的科學，也是動量、力及能量的科學。它是物理學中最基本的一部分，一個人在開始從事某一相互作用的研究前，一定要對力學徹底了解。由伽立略（ *Galileo* ）所說

"不認識運動就不認識自然。"

（ *Ignorato motu, ignoratur natura.* ）

的一句話，可知他對力學的重要性的認識。我們今日所知道的力學，主要是由才華過人的牛頓（ *Sir Isaac Newton* ）在十七世紀時研究所得的牛頓定律而來。但此外尚有許多人，其中較有名的如阿基米德（ *Archimedes* ）、伽立略（ *Galileo* ）、刻卜勒（ *Kepler* ）、笛卡爾（ *Descartes* ）、惠更斯（ *Huygens* ）、拉格朗（ *Lagrange* ）、漢彌頓（ *Hamilton* ）、馬赫（ *Mach* ）及愛因斯坦（ *Einstein* ）等，對這一部門學科的發展，亦有很大的貢獻。

【力學之投影定律】（ **Mechanical projection law** ）

倘使作用之力係與運動方向互成傾斜之角度，則只是具有運動方向之分力，始可用以產生運動的效果，而此一分力，即等於該力在運動方向上之投影。此一定律，我們稱之爲力學之投影定律。產生運動的分力，我們也稱之爲動的分力；至於並不產生運動，而只在支持物上加以壓

力之垂直分力，則稱爲靜分力。

【力學平衡】(Mechanical equilibrium)

所謂在力學平衡狀態之剛體，乃係在一慣性參考系中觀之，若(1)其質心的線加速度 $\vec{a}_{cm}$ 爲零；(2)對該參考系中之任何固定軸，其角加速度 $\vec{\alpha}$ 爲零。

上述定義不需物體對觀察者爲靜止，僅需物體未被加速，例如其質量中心可以等速度 $\vec{v}_{cm}$ 運動，並且物體可以等角速度 $\vec{\omega}$ 繞固定軸轉動。若物體確係靜止 (故 $\vec{v}_{cm} = \vec{0}$ 和 $\vec{\omega} = \vec{0}$)，常稱之爲靜態平衡。但無論平衡是否爲靜態，加於力和轉矩之限制相同。非靜態平衡問題，均可由選擇適當之新參考系，而將之變換爲靜態平衡。

質量 M 之剛體的平移運動由下式決定

$$\vec{F}_{ext} = M\vec{a}_{cm}$$

$\vec{F}_{ext}$ 爲所有作用於物體之外力的向量和。因平衡時 $\vec{a}_{cm}$ 應爲零，故平衡 (靜態或非靜態) 的第一條件是：作用於平衡物體所有外力之向量和必爲零。

條件(1)又可寫爲 $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \cdots = 0$

【力學穩度】(Mechanical stability)

物體的位置或運動受到干擾時，該物體具有反抗該等干擾，以保持原狀態的傾向之大小稱爲穩度。

通常將穩度分爲：(1)正穩度，即具有正穩度的物體在暫時性的擾動移去之後，能恢復原來狀態而平衡；(2)中穩度，這種物體有保持確定狀態的傾向，受到擾動即改變狀態，但干擾除去後便在新狀態平衡；(3)負穩度，即受到擾動即以加速方式改變狀態而不能任意恢復平衡。舉例言之，受阻滯的單擺、球、豎立的細長柱體分別具有正、中、負穩度。

參閱" 平衡 (*Equilibrium*) " 條。

【力臂】(Arm of force)

力之作用線與轉軸間之垂直距離。

【十字線】(Cross wire)

許多儀器需要其目鏡之焦平面中有十字線，以往爲此目的一般採用蜘蛛絲，如今在玻璃上使用十字線日增，故目前採用的方法有金剛石劃線、刻痕或用照相法。另有一方法不十分普遍，乃在一曝光細粒照相底版上劃兩線成直交(即底版法)，在暗室用紅光，使用之工具爲剃鬚刀片或特製劃線工具，此底版用常法顯影，然後見劃線爲黑色，非常纖細之線條。用廿倍放大目鏡觀之，線條邊緣絕不會呈現有凹凸不平之處，線之交叉點亦十分正確明晰而不彎曲。

對十字線採用蜘蛛絲應考慮必須先由一蜘蛛取蜘蛛絲(選用秋季大型棕色花園蜘蛛)纏在一線框(3″×2″)上。使蜘蛛吐其絲在框上，然後此框旋轉而蜘蛛絲如圖2—48 所示沿長框邊做對角線纏絞，蜘蛛絲以一滴快乾接合劑固結。將金屬光闌由目鏡處移去，而小心將金屬絲框置此處，如此則一條蜘蛛絲留在光闌的明顯位置，兩滴接合劑(即蟲膠 *shellac*)置於蜘蛛絲之兩端，令乾；然後切斷，再對第一條蜘蛛絲之直角上一位置做此操作。金及石英纖亦可製成細絲做十字線用。

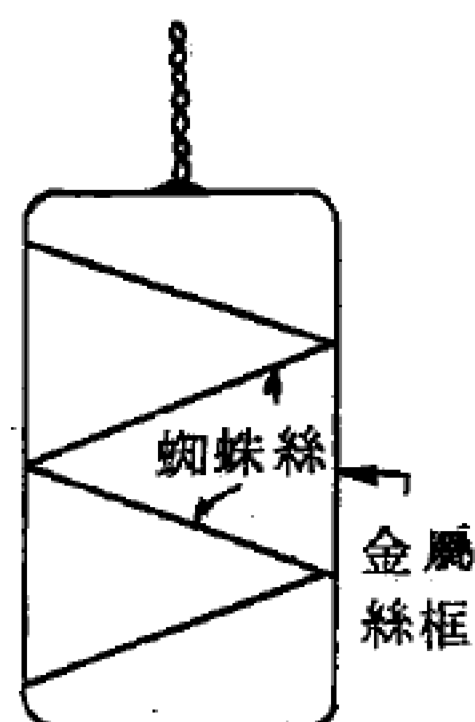


圖2—48

【十進計數管】(Dekatron)

十進計數管應用的原理是根據兩個事實：(1)即屏極與最低的電壓的電極間才產生放電；(2)即放電管內有離子存在時，放電起始電壓就比沒有離子時低。

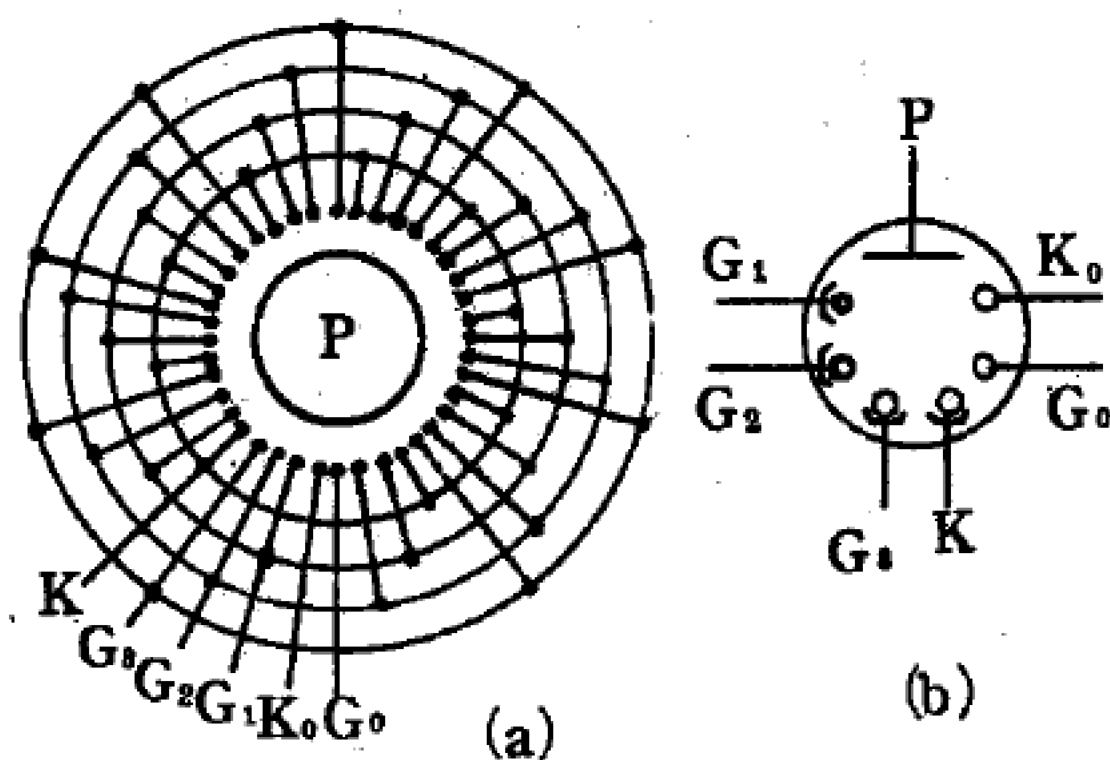


圖2—49

其構造如圖2—49，在中央處有圓形屏極（P），在屏極外圍配置40支電極。這些電極在管內相連接稱爲陰極（K），第一柵極（G_1），第二柵極（G_2），第三柵極（G_3）。此外還有表示0的陰極與柵極K_0與G_0，在配線圖上則以圖2—49(b)表示其構造，需接到管座腳的導線爲P、K_0、G_0、K、G_1、G_2、G_3等7線。

十進計數管的計數器，可利用於電壓數或振盪電壓的振盪頻率測定。亦可與適當的輸入廻路配合當爲微秒計時器使用。

【十進計數管計數器】（Dekatron counter）

利用單脈波十進計數管（利用輝光放電的冷陰極放電管）來自動計數進入脈波數目的儀器。電路如圖2—50所示。

其用途有(1)放射線計數率的測定。(2)RC振盪器頻率的測定及校正。(3)音叉的振動數之測定。(4)交流頻率的測定。(5)廻轉數的測定。(6)微小時間的測定。

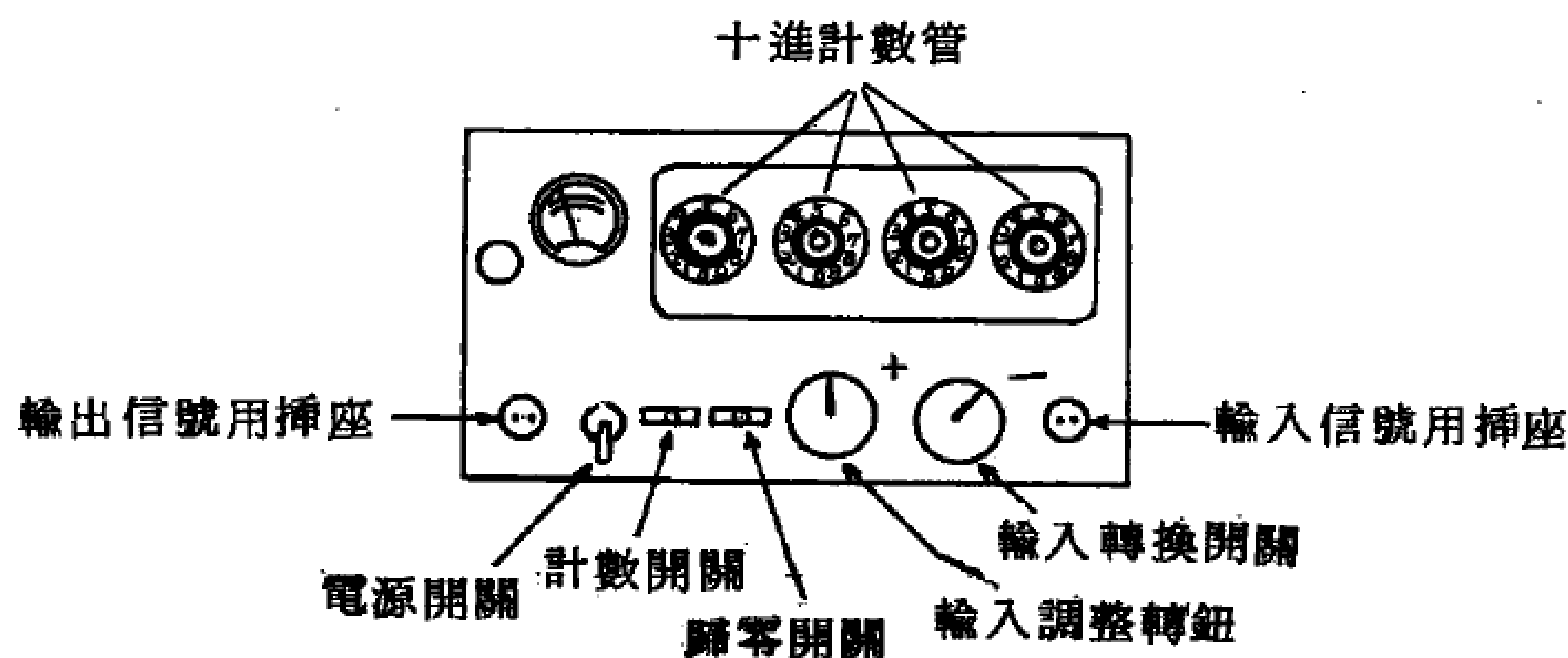


圖2—50

【十進秤】（Decade balance）

詳閱"臺秤（*Platform balance*）"條。

【十億分之一】（Nano－）

冠於一基本單位之前，表示該單位的十億分之一（10^{-9}）。

參閱"附錄"。

【十億電子伏特】(Billion electron volt ;BeV)

能量之單位。用來表示十億電子伏特的能量。

參閱"電子伏特(*Electron volt*)"條。

【註】美、法兩國 *billion* 指十億(*thousand million*),不像在英國它意指一兆(*million million*)。英國將十億伏特給予電子的能量稱做 *giga electron volt*,通常簡寫爲 *GeV*。

【卜諾霍諾夫】(Alexander Mikhailovich Prokhorov 1916-)

蘇俄物理學家,生於澳洲之阿斯耳頓(*Atherton*),1946年列寧格勒大學畢業,入莫斯科之來伯德(*Lebedev*)物理學研究所任研究員,1954年任該所之振盪實驗室主任。因發展鎂射與雷射,對量子電子學有貢獻,與白沙夫(*N.G. Basov*)及湯里士(*C.H. Townes*)同獲1964年諾貝爾物理學獎。

三　　畫

【三力之平衡】(Equilibrium of three forces)

三力作用在一個物體而達平衡時，這些力彼此之間的關係可如圖3—1所示。

此時，不論取三力中的任何二力畫平行四邊形，其對角線所表示的力總是與所剩的一力平衡。

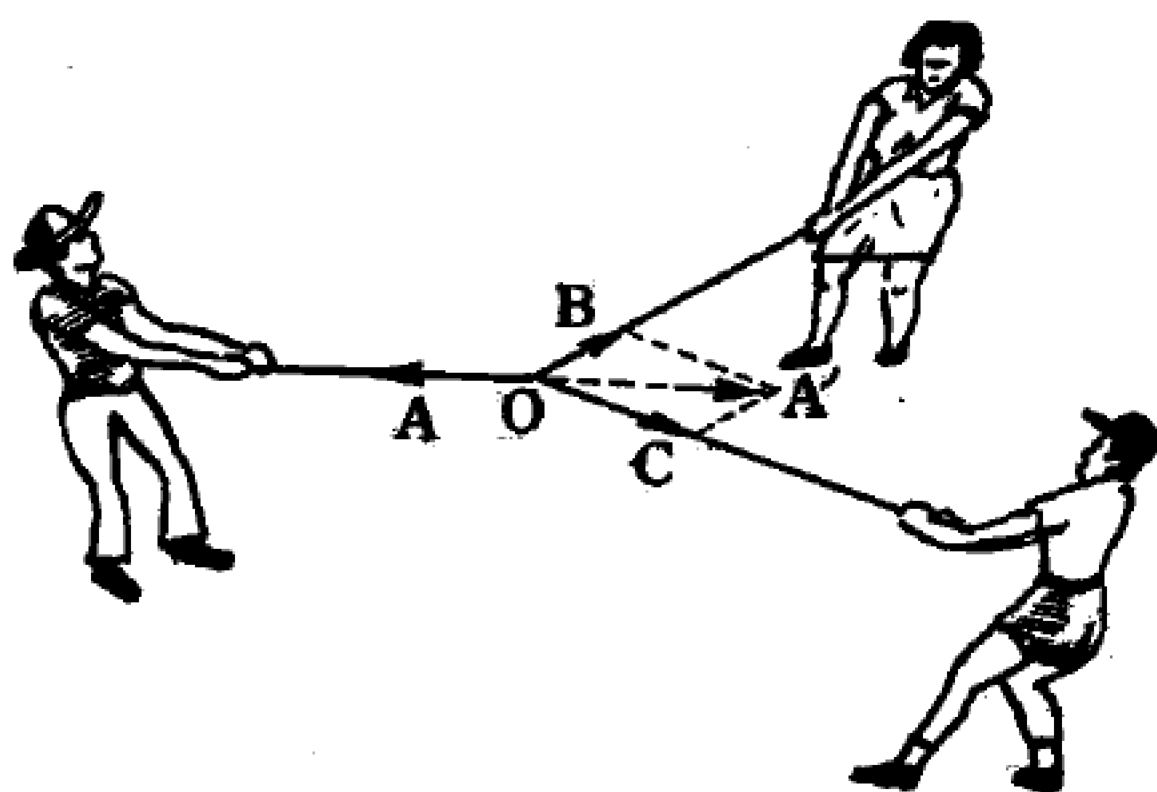


圖3—1　三力之平衡

【三力之合成】(Composition of three forces)

如圖3—2，對於O點有$\overrightarrow{OA}$、$\overrightarrow{OB}$、$\overrightarrow{OC}$三力作用時，如要求其合力，可先任取三力中之二力，例如$\overrightarrow{OA}$與$\overrightarrow{OB}$的合力$\overrightarrow{OD}$，再求$\overrightarrow{OD}$與所剩的一力$\overrightarrow{OC}$的合力$\overrightarrow{OE}$即可。欲求四力作用於一點時的合力，也可用同樣的方法類推得之。

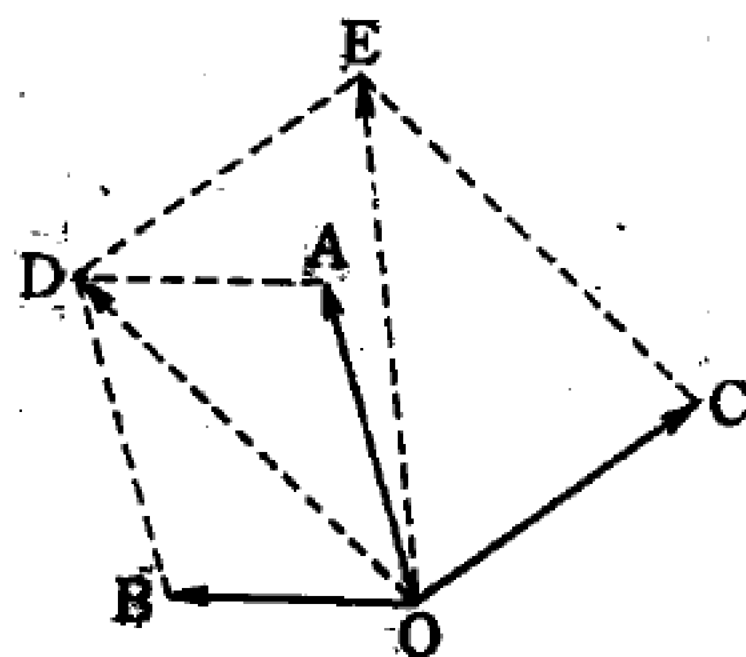


圖3—2　三力之合成

【三分核分裂】(Ternary fission)

原子核分裂成三碎片的反應。在分裂過程中，除分裂的二碎片外，還會發射一α粒子(^4_2He)，這種三碎片分裂的機率約爲四百分之一。因爲此α粒子能量高(平均爲15MeV)，大約垂直於碎片的方向射出，故可能與另兩塊重碎片同時分裂而成。另一種更爲稀少的情形是發射甚輕的帶電粒子，如氚核(^3_1H)。至於同時分裂成三塊質量大約相等的碎片，亦有發現，約在十萬次分裂過程中才有一次這種三分核分裂。

【三用電表】(Vom；Volt-ohm-milliam meter)

在電子工程中，使用最廣而最為重要的測量儀器，即為三用電表。三用電表因可測量直流電流、電壓及電阻而得名，亦稱“萬用電表”(*universal meter*)。三用電表以直流電表為基礎，先加上並聯“分流電阻”(*shunt resistor*)以擴充電流表的測量範圍。再加上串聯電阻以便測量電壓。不同數值的串聯電阻可以測量大小不同的電壓“範圍”(*range*)。在串聯電阻以外，再加上適當的電壓，例如 45 *V*、22.5 *V*、3 *V*、1.5 *V* 的乾電池，便可測量高值或低值的電阻。測量電阻時，先使閉路時的指數利用“調整鈕”(*adjusting knob*)，調整到電阻的“零”值(即電流的最大指數)，將需要測量的電阻以“測電棒”(*testing rod*)跨接時，電流的減小就是被測電阻的當量反應值。所須注意者，為測量“電阻”時必須把被測線路的電源拆去。測量“電流”和“電壓”時，必須將被測的機器接上電源。更須注意者，測量電流只能把電表串聯在電路之中，切不可直接碰到電源電壓或線路的兩端，以免損壞。

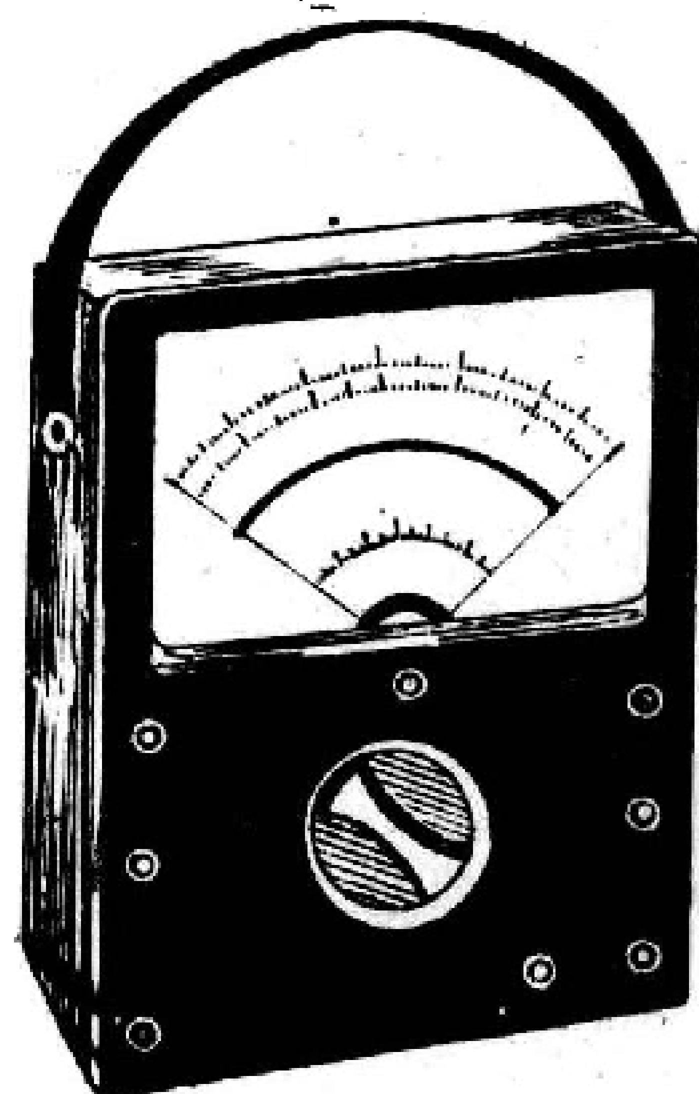


圖 3 —3　典型三用電表

三用電表普通常用每伏特二仟歐姆“內阻”(*internal resistance*)的 1 *mA* 電流表。內阻越大，電表消耗被測電路的電能越小而越正確。高級三用表都用每伏特五仟歐姆以上的 2 μA 電流表製成。如求更加精確，可用“眞空管電壓表”(*vacuum tube voltmeter*; *V.T.V.M.*)製成的萬用電表，那就根本不會消耗被測電路的電流而可獲得絕對正確的指示。

【三色印刷】(Three colour printing)

各種物體所呈的顏色，都因吸收或反射入射光部分不同的緣故。用紅、藍兩種玻璃重疊，以觀察強烈的太陽光，透過的光線就弱；若用幾

種顏色不同的玻璃片重疊以觀太陽，可以完全不見，此因各種光線全被吸收的緣故。又白色的物體能反射各種的光，故隨入射的白光而呈白色；黑色的物體因吸收各種的光，故呈黑色。顏料配合而成各種顏色，理亦相同。例如黃和藍兩種顏料，適量混合時，可成綠色，因爲黃色顏料吸收黃色和綠色以外的色光，藍色顏料吸收藍色和綠色以外的色光，故若兩種顏料混合後，各種色光完全吸收，只反射綠光，是以呈綠色。

三色印刷法就是利用這個原理，將紅、黃、藍三種顏料各塗一塊製好的銅版上，分三次在紙上同一位置重疊印刷，即可得各種不同的顏色。

【三色性】(Trichroism)

某些晶體將光線在三個不同方向反射爲三色的性質。

【三次諧波】(Third harmonic)

三倍基本頻率的電波。

【三角形】(Triangle)

於二度空間平面圖形分類中，凡具有三條直線的邊之圖形即稱爲三角形。分爲一般三角形、等邊三角形、等腰三角形、直角三角形等。

【三角形之組合】(Triangular combination)

把材料組合成三角形時，形狀不易改變。這是由於三角形三邊的長度如確定，只有一個形狀的緣故。四角形時，則雖其四邊的長度確定，仍可成爲各種形狀，因此易變形。不過如果在四角形內加對角線，使成爲三角形的組合，形狀就不易改變，而成爲堅固的結構。

【三角接法】(Delta connection)

電力輸送之一種連接法。三相系統的特殊性質，爲當相電壓 R、S 和 T 振動時，它們的代數和爲常數且等於零。所以若能注意將負荷平均分配於三相時，則不需廻路導線 (*return lead*)。圖 3 — 4 (*a*)示三相電動機或三心變壓器的三個繞組，或一羣繞組，如何能連接到輸電線上

。繞組的外端子連接到輸電線上。繞組的外端子連接到導線 *R*、*S*、*T*，而內端子則連接到一個共同的*O*點，這個*O*點可以但並非必須接地。這種連結法叫做星芒接法（*star connection*），供應到繞組中的電壓為相電壓。另外一種連結法如圖 3—4(*b*)所示，對負荷供給線電壓，叫做三角接法。

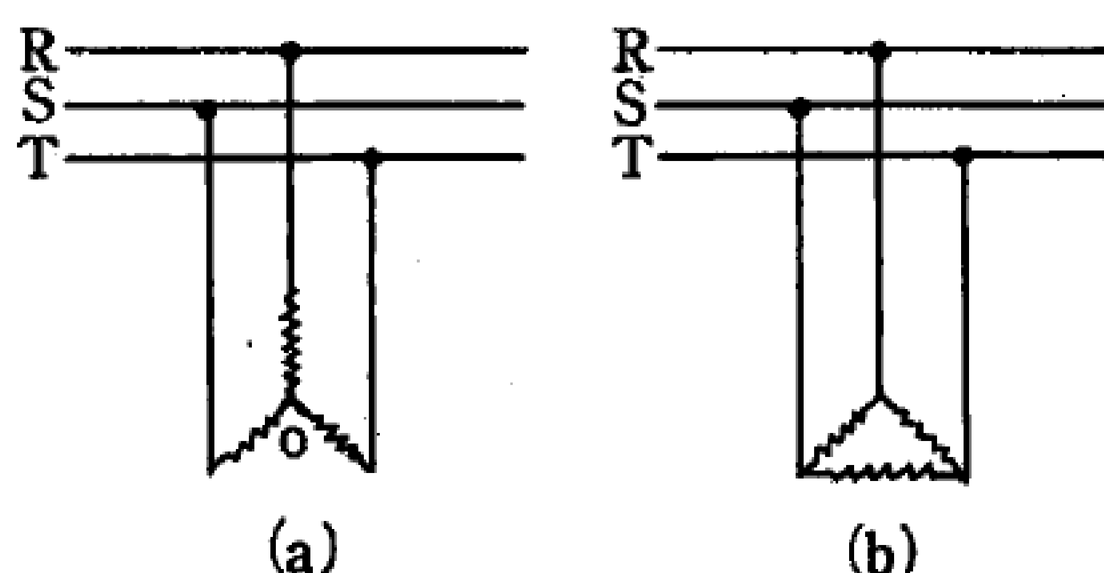


圖 3 — 4　星芒接法和三角接法

【三角脈衝調頻】（F.M. with a triangular pulse）

此種脈衝之典型用途，為無線電傳眞及飛機高度計。在三角脈衝內

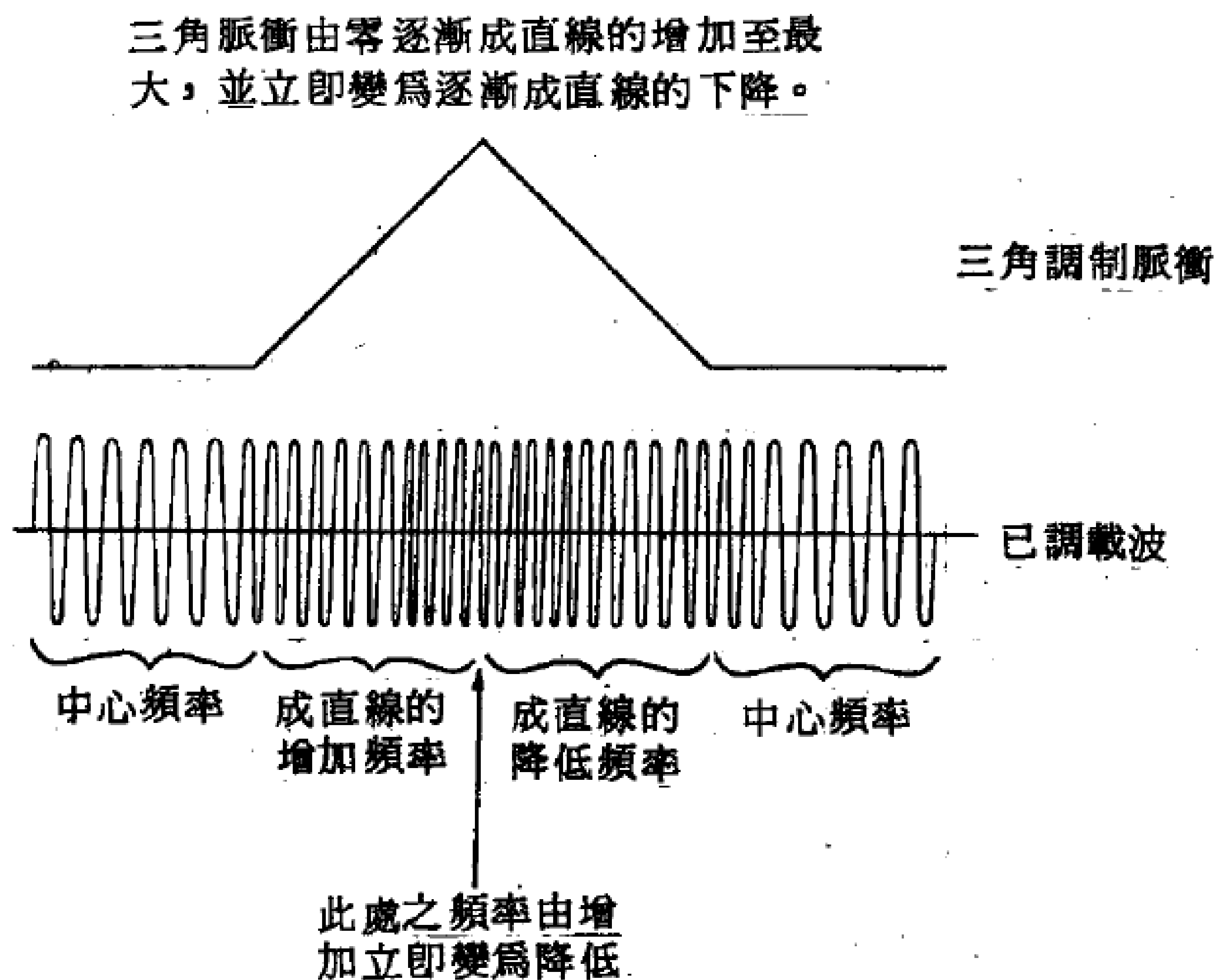


圖 3 — 5

，振幅從零逐漸成直線的增加至最大值，然後再以同樣之方式降至零。所以用三角脈衝調頻時，其載波頻率以相等的速度，逐漸增高至最大，並在到達頂點後立刻停止增加，開始以等速逐漸降低至中心頻率，如圖 3－5 所示。此種由三角脈衝調制，使載波頻率以等速增加及降低之作用，在調頻內有很多基本用途。

三角脈衝亦含有很多諧波頻率，調制後亦產生很多旁頻帶頻率。因其本身亦不以零電位參考階層對稱，故所產生之旁頻帶頻率亦不與中心頻率成對稱。

【三角晶系】(Rhombohedral trigonal system)

在晶體分類中三個軸長短相等，彼此間的夾角也相等，並且小於 120° 而不等於 90° 的晶系，稱之爲三角晶系，即如圖 3－6 中 $a = b \doteq c$ ，$\alpha = \beta = \gamma < 120°$。

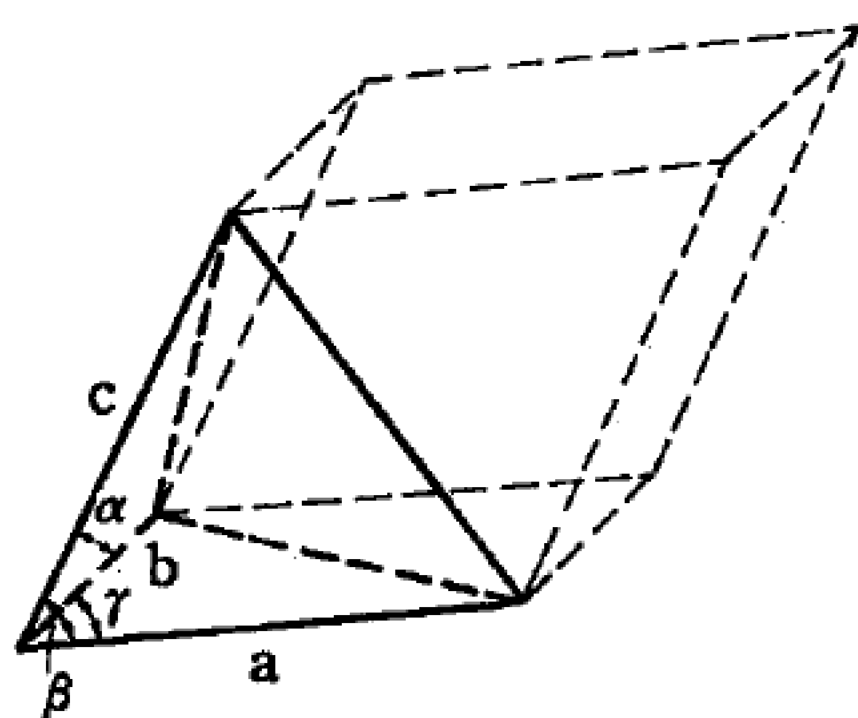


圖 3－6　三角晶系

【三角測量法】(Triangulation)

無法直接用尺量度的距離，例如，兩座山山頂間之距離、星球間的距離等，須用間接的方法量度。由直接量度的結果我們發現我們所處的空間大致是三維的歐幾里得空間。因此，歐幾里得幾何學的定理便可被用作測量距離的方法。例如，我們可用三角法測量一顆人造衛星的高度。設如圖 3－7 中 A、B 兩點爲兩觀察者的位置，他們間的距離爲 L，C 爲人造衛星在某一時間的位置。如果這兩位觀察者同時觀

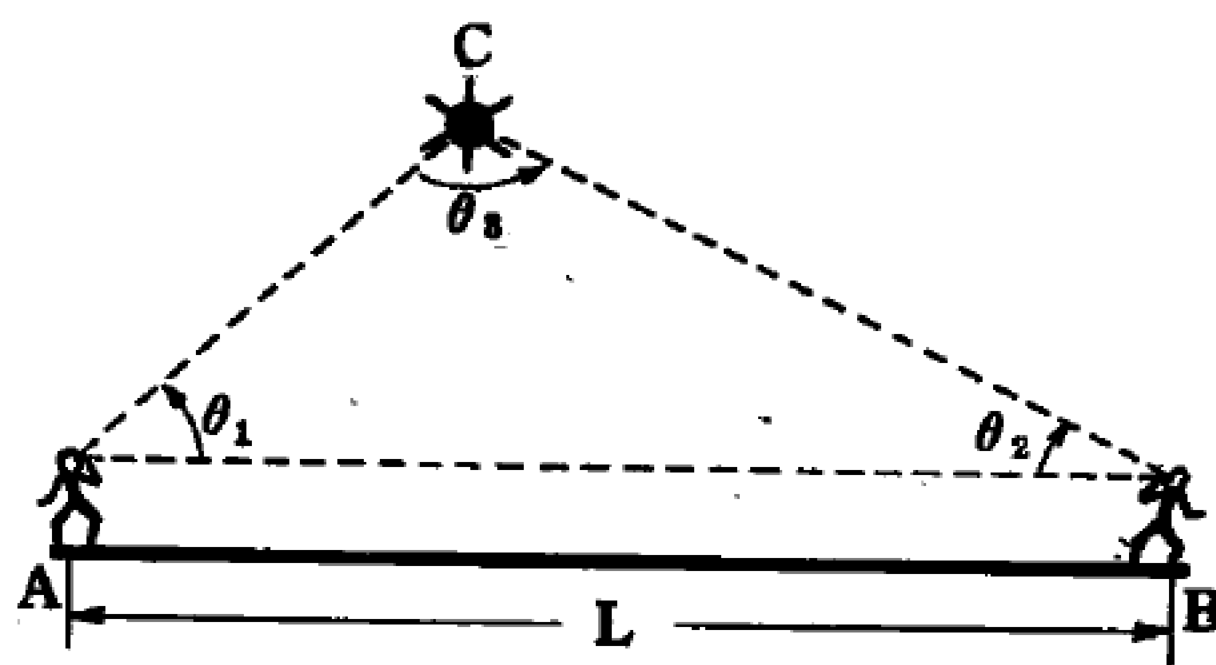


圖 3－7　用三角法測量人造衛星的高度

測人造衞星並量出其仰角θ_1及θ_2，則我們根據歐幾里得幾何學便可推算出人造衞星的高度。我們也可用同樣的方法測量地球與月球間的距離。但是地球與太陽間的距離就不能直接用這種三角法量出來，因爲即使我們用地球的直徑做如圖3—7的底邊，其頂角(即θ_3)仍然小到無法精確量度。必須用其他方法才能測定。

參閱“遠距離之測定(*Telemetry*)”條。

當地球與太陽間的距離求出來後，我們便可進一步用三角法測量較接近太陽系的恆星與太陽間的距離，如圖3—8，我們可用地球繞太陽的軌道直徑做底邊，在冬天與夏天觀測某顆恆星並定出其仰角θ_1及θ_2即可求出它與太陽間的距離。但同樣的，若與太陽相距極遠的恆星，亦會因θ_3太小而無法測定。

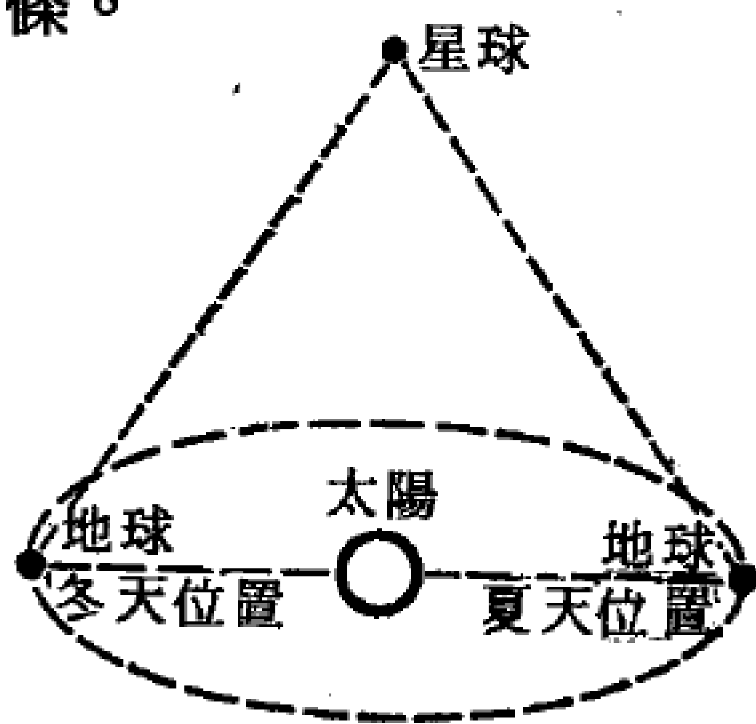


圖3—8
用三角法測量恆星與太陽間的距離

另外，亦可利用三角形相似比例或三角函數的關係來計測遠距離，其方法、原理如下：

【原理】

由一基線兩端至一物體的兩條視線之交點即爲物體所在的位置。基線愈長，待測物體之距離可愈遠。

【步驟】

1. 於地面上量取一段距離作基線。
2. 於基線兩端測量物體與基線所成之角度。
3. 根據測量所得數據作圖，或由三角計算即得待測物體之距離。

【測量法之說明】

1. 地面遠距離之測定——圖3—9示測河寬AT之實況。先於A、B兩處各打一樁，使A、B與T在一直線上。再作直角CAB，C處

圖 3 — 9

打一樁，量 AC 之距離，AC 即為基線。延長 AC 至 D，再作直角 CDE，並使 T、C 與 E 在一直線上，於 D 與 E 兩處各打一樁，量 DC 與 DE 之距離。因直角△TAC 與直角△EDC 相似，得

$$AT = \frac{AC}{DC} \times DE$$

將 AC、DC 與 DE 各值代入上式，可計算得待測之河寬 AT。

或由 $\tan\angle TCA = \frac{AT}{AC}$

$$\therefore AT = AC \tan\angle TCA$$

2. 近處恆星距離之測定——以一極遠之恆星作為方向不變之參考體，地球公轉軌道之直徑作為基線。地球上之天文學家於某時觀察得待測之近處恆星與遠處恆星恰在同一視線上，待半年後，地球運行至基線之另一端，此時兩星球必不在同一視

圖 3 — 10

線上，使攝影機對準極遠星球以取得與上次相同之方向，加以攝影，底片必呈顯此兩星球之像，見圖3—10。由圖中之相似三角形得

$$d = b \times \frac{l}{s}$$

將上式中右端各項之值代入，即得待測星球至地球之距離d。

【三相三線制】(Three phase three wire system)

電力廠輸送電力方法之一，間有採用包括地線之四線制。

【三相平衡】(Three phase equilibrium)

物質三相——固態、液態、氣態相平衡的狀態稱爲三相平衡。

參閱"三相點(*Triple point*)"條。

【三相交流電路】(Three phase A.C. circuit)

一般家庭用電均爲單相交流電，然而電流的大規模生產和分配以及大部分工業用電，則都是以三相交流電路的形式出現。高壓輸電線如全國性的配電站，通常有三根或六根線。有時還有一根額外的細線連接各柱的柱頂，不過這根線沒有電壓，而只是保持各柱子間相等的電位。假若用六根線則是代表三對平行連接的雙導線，因此本質上還是三根導線(我們可用文字R、S、T來區別)載負著強度相等、頻率相同，而互相具有120°相移(*phase shift*)的交流電。所以代表這三根導線電

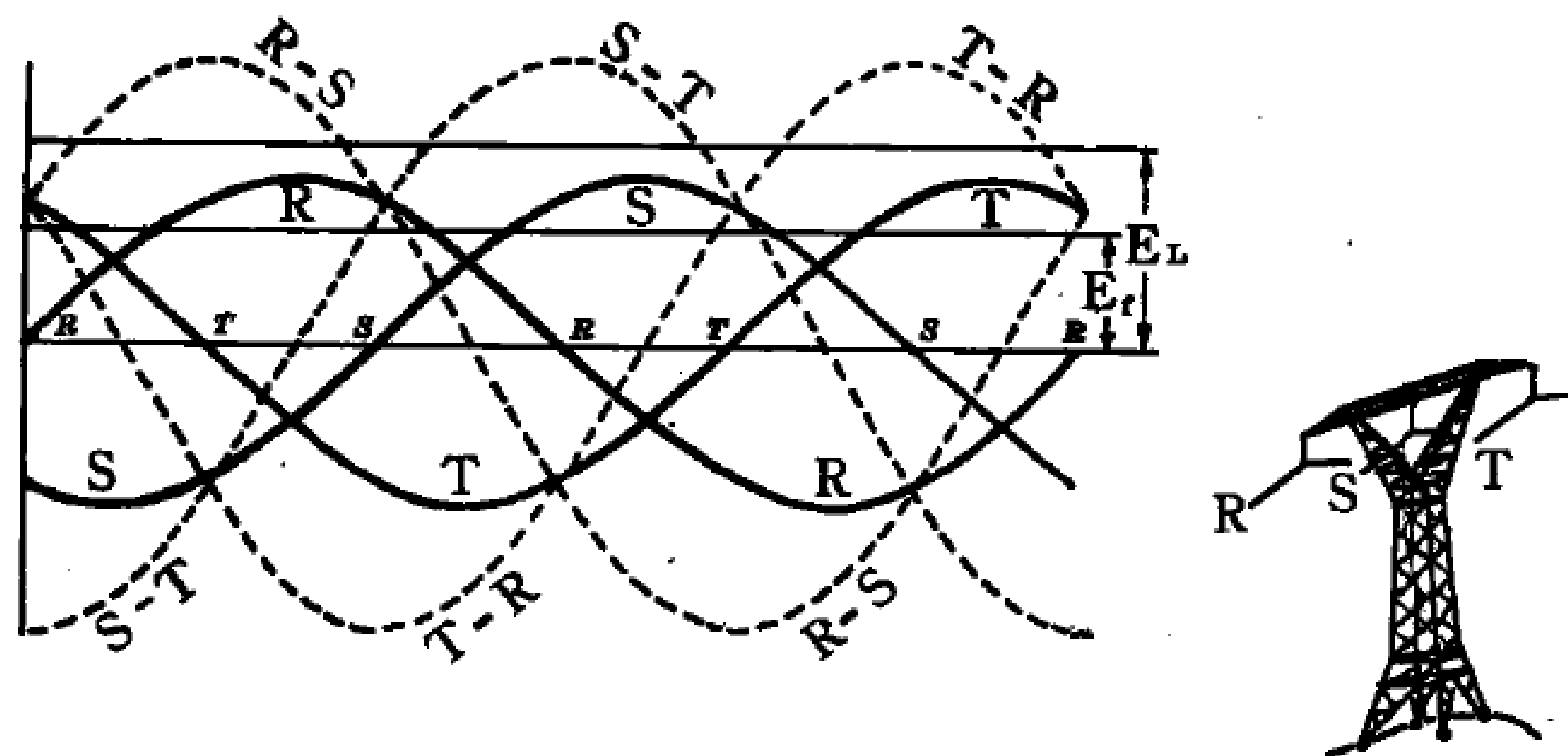


圖3—11　三相交流電路中的相電壓和線路電壓

壓變化的曲線爲相同頻率的正弦波，位置互相隔開三分之一週期。對這三根導線對接地線的電壓叫做相電壓（*phase voltage*），圖3—11中以實線R、S和T代表。三線中每兩根的電壓差叫做線路電壓（*line voltage*），如圖3—11中虛線$S-T$、$T-R$和$R-S$。相電壓和線路電壓對時間的變化以正弦曲線表示，巔值和有效值之間的關係完全與單相交流電路之關係相同，即$E_{max}=\sqrt{2}E_{eff}$。在零線以上到兩條水平細線的高，表相電壓E_f和線路電壓E_L的有效值。它們之間的關係爲：

$$E_L=\sqrt{3}E_f$$

三相輸電線的電壓值經常係指線路電壓的有效值。

三相系統的主要優點在於三相電動機的構造簡單而堅固。全世界由這種電動機所供應的機械動力，比其他任何引擎所供者爲多。

【三相發電機】（Three phase dynamo）

電樞上繞有互成120°的三組線圈，在三相發電機中，爲節省導線常將通至外電路之六根導線合併爲三根，其連接有：

1. △連接（△－*connection*）—— 由三頂點接出三線，每兩線間有其相當的電壓。

2. Y連接（Y－*connection*）—— 三圈共結之中心點接一線至地，另三線與之可得相當的電動勢。

【三相電流】（Three phase current）

由三個普通的（單相的）交變電流互相移相120°而組成的交變電流（如圖3—12）。爲了傳送三相電流，通常應用著三線制線路，其中每兩根導線都分

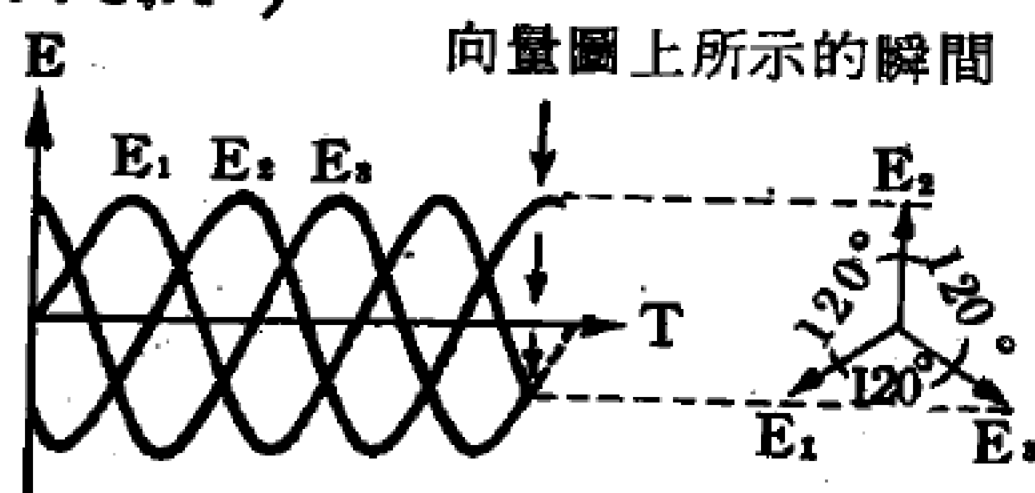


圖 3 — 12

別對應於三個單相交變電壓中的一個電壓，即對應於三相電流中的一個（相）。在某些情況下，爲了傳送三相電流，還採用著四線制線路——

三個（相）和第四零位線或均壓線（此線的截面通常小於“相”線）。在這種情形下，造成三相電流的單獨（單相）交變電壓或者由每兩個“相”線間獲得，或者由相線與零位線之間獲得。不過相線與零位線之間的電壓大致為兩條“相”線間電壓的 1／1.7。

三相電流與單相電流比較起來，其主要方便之處在於可以利用三相電動機，而此種電動機是交流電動機中最簡單和最便利的。整流器中應用三相電流也比單相電流優越，因為雖然單相整流器的構造要簡單一些，但是在三相整流器後面卻容易實現脈動電流的平滑。

【三相點】（Triple point）

當三態平衡時，物質之溫度和壓力必為此交點所指示之值；反之，如當物質之溫度及壓力適等於此交點所指示之值時，則物質之三態必係同時存在；此交點可名為三相點，或稱三態點。各種化學性穩定的純物質在固態、液態、氣態三相彼此達到平衡時的溫度和壓力的狀況，如圖 3 — 13 所示。因為沸騰是液相與氣相間的平衡現象，結冰的初始是液相與固相間平衡的表徵，所以在三相點理論上，物質可以完全結冰、沸騰及冷凝為液體。

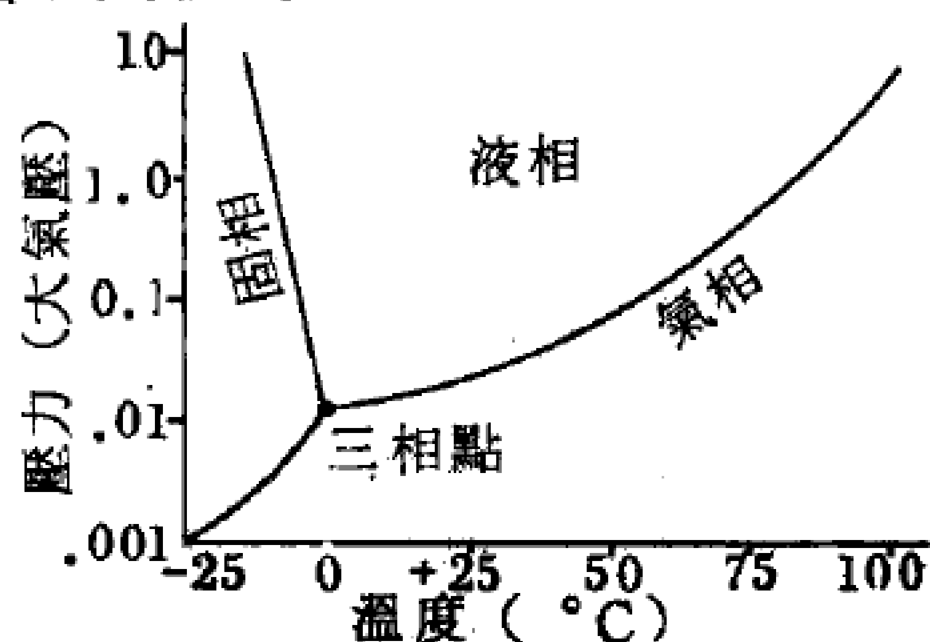


圖 3 — 13
水的壓力溫度圖（相圖），圖中顯示水的三相點在 0.01°C和 0.006 大氣壓

要供給能量以改變物質的相，必須選擇適當的方向以調節溫度和（或）壓力，使稍微偏離三相點即可。

【三指定則】（Three-finger rule）

將右手之拇指、中指、食指三者互相垂直，拇指指運動方向，中指指電流方向，食指指磁場方向。亦稱安培定則。

【三面鏡】（Three sides mirror）

對兩相垂直之平面鏡，再加一與其相交之邊互成垂直之第三鏡，於

是三鏡便連合起來形成立方體之一角，此即所謂三面鏡，在交通與運輸方面用作反光器，極有助益。以此鏡作實驗，結果殊堪驚奇。一束光線經三面鏡交互反射後，當其射出時，仍與入射線平行。圖 3 — 14 顯示光線射入與射出之實際情形。其與二鏡垂直之實驗不同者，乃在三面鏡並不要求入射線對鏡面裝置而言有其一定之方向。無論來自何方之光線，經三鏡先後反射後，均能以平行於入射線之方向反射而出。

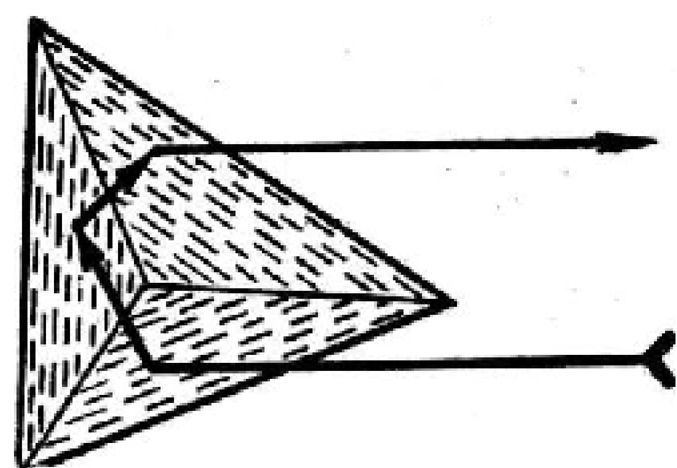


圖 3 — 14　三面鏡之作用

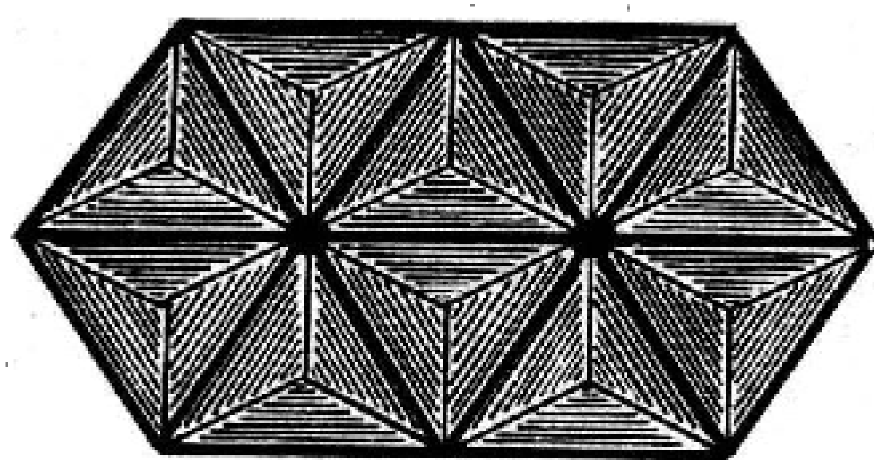


圖 3 — 15　三面鏡作反光鏡之應用

設一汽車頭燈光射入三面鏡時，則反射光線便會射入駕駛人之目，意即駕駛人便會看見鏡內發光。這種基於物理學原理之特種反光器，極能合乎交通規則之要求。例如在公路與鐵道平交道兩端設置之三道紅色警告牌，牌上便裝有用好多這種小三面鏡鑲在顏色玻璃內，如圖 3 — 15，即爲特種反光器之一種，用之可以避免車禍。

【三原色】(Three primary colors)

根據楊格、赫爾姆霍茲 (*Young-Helmholtz*) 色覺學說，人眼的網膜上有三種神經，此三者各對紅、綠、紫三色的感覺特別敏銳。各種色光的感覺乃因此三原色對三神經的刺激不同而產生的，若三神經被刺激的程度相同，則感覺爲白色。

而通常顏料所呈的顏色，是隨顏料所反射的色光而定。若將紅、黃、藍三種顏料作適當的混合，即可得一切顏色，故畫家多認爲紅、黃、藍爲三原色。

這與楊、赫學說所定的紅、綠、紫三原色雖不相符，但不足爲楊、

赫學說之病。因爲畫家所用的顏料所呈現的顏色乃顏料所不能吸收者，故混合顏料的結果與混合光譜中各單色光的結果並不相同。例如，藍色顏料除了藍色及一部分綠色外，幾乎可將射於其上的其他色完全吸收；黃色顏料是除了黃色及一部分綠色外能完全吸收其他各色。於是將藍色與黃色顏料混合，所未被吸收者乃是綠色。這種相減效應與色光的相加效應大不相同。因此，染色物體的色感常因照射光的光色而改變。

【三級式發射機】(Three stage transmitter)

基本三級式發射機的方塊圖如圖 3—16 所示。爲提高效率，發射機的三級均工作於C類。主控振盪器 (*M.O.*) 爲電子耦合式 (*E.C.O.*)，可以產生頻率可變的射頻信號，例如頻率可自 2 變至 4 兆赫。

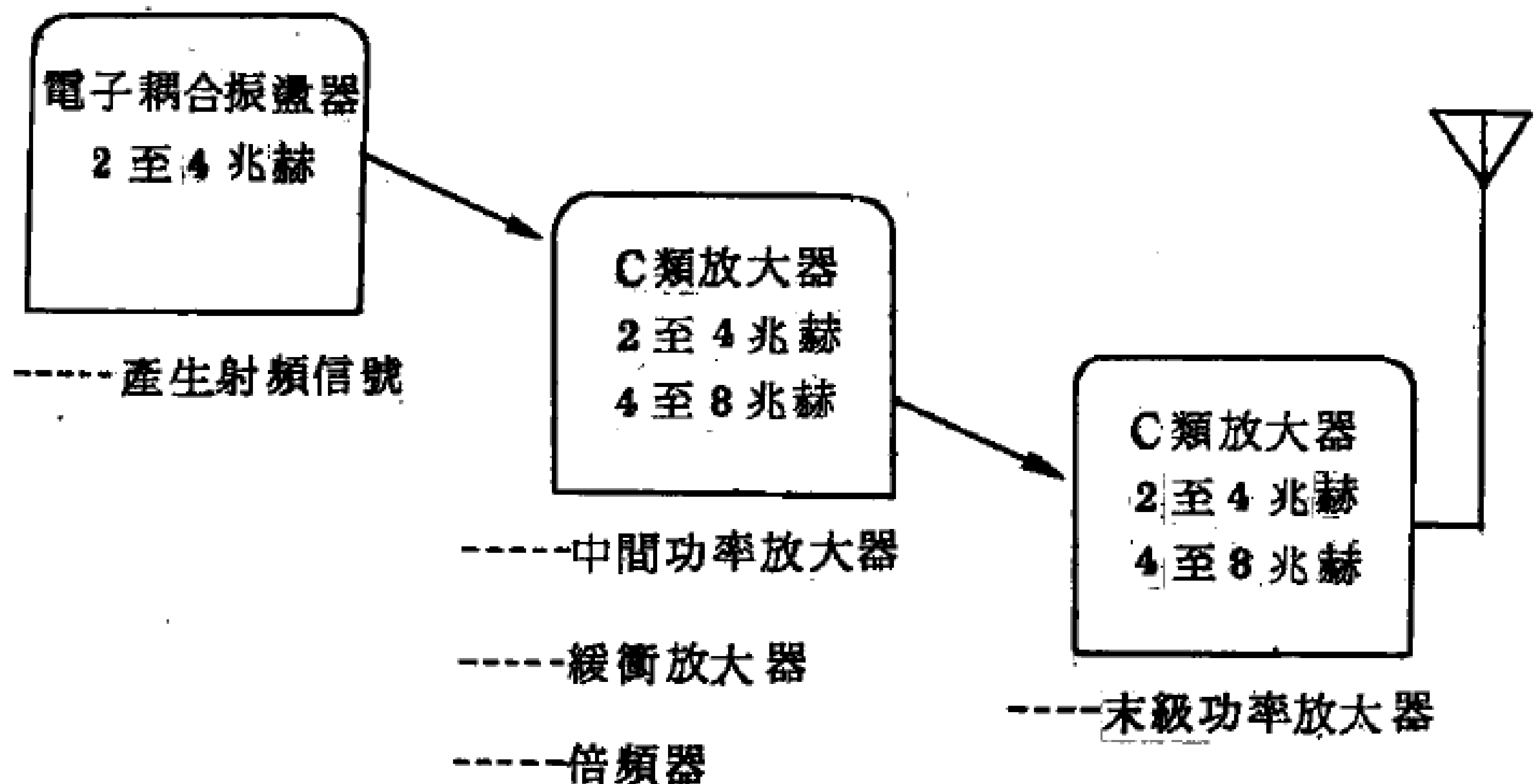


圖 3—16

中間功率放大器 (*I.P.A.*) 放大射頻信號，同時使主控振盪器與末級功率放大器隔離，以增進頻率穩定性。所以它叫做" 緩衝放大器 " (*buffer amplifier*) 。中間功率放大器亦可作倍頻器用，使輸出頻率爲振盪器頻率的二倍，所以其頻率爲 4 至 8 兆赫範圍。

末級功率放大器 (*P.A.*) 產生大量功率輸出，輸至天線發射，其輸出信號的頻率與柵極輸入信號相同。

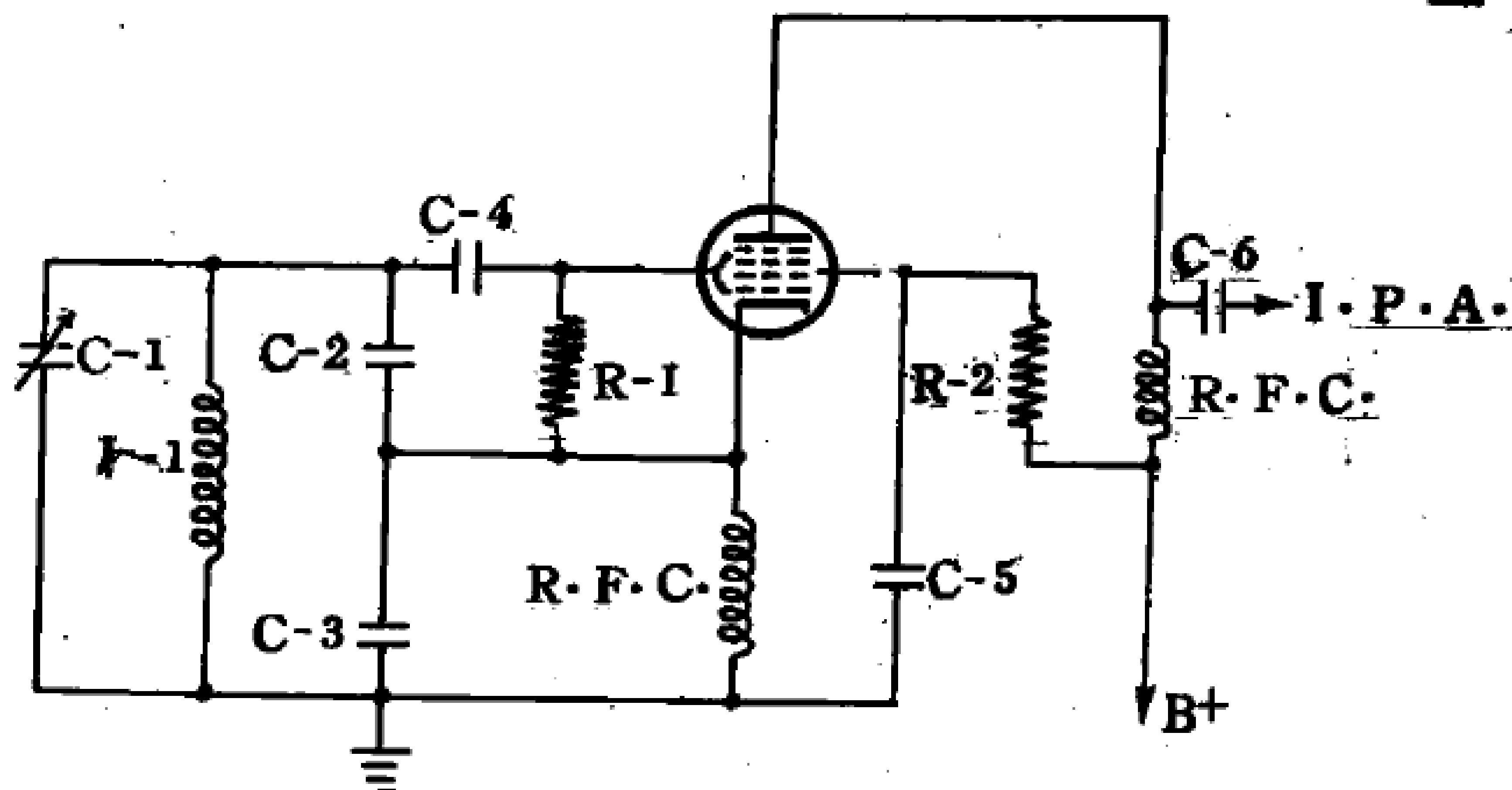


圖 3 — 17　主控振盪器

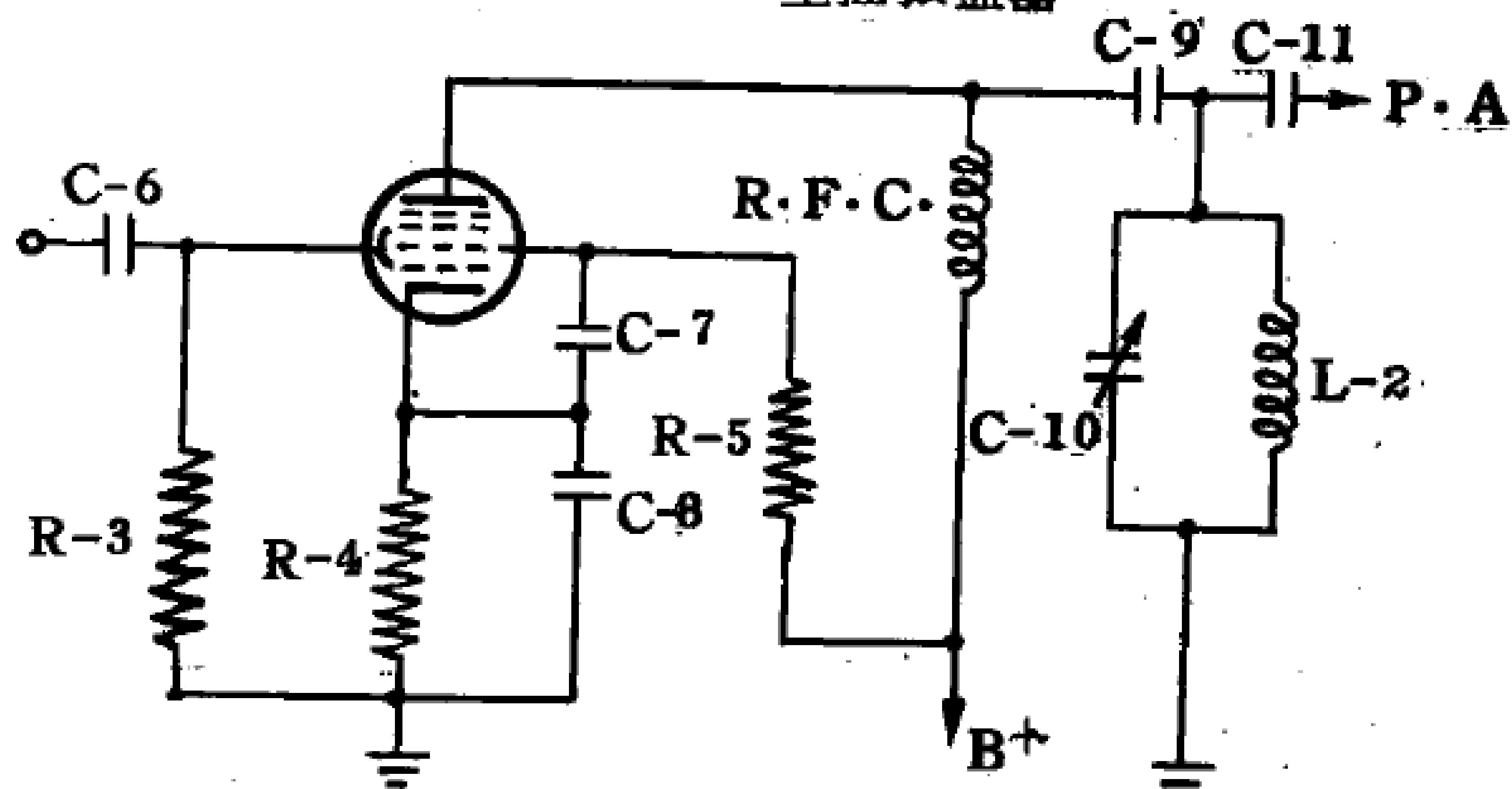


圖 3 — 18　中間功率放大器

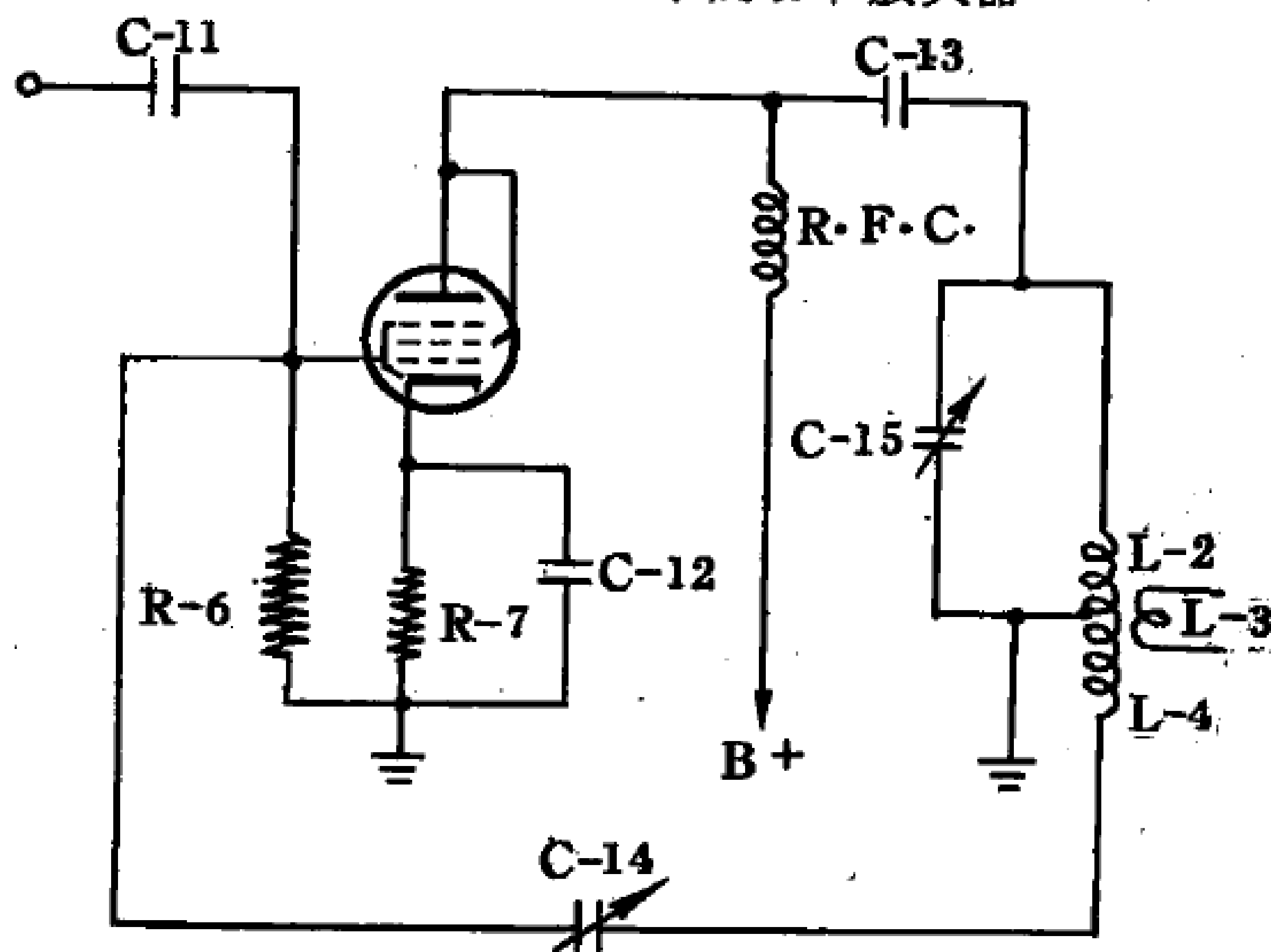


圖 3 — 19　末級功率放大器

簡言之，三級式發射機乃由主控振盪器（圖 3 — 17），中間功率放大器（圖 3 — 18）和末級功率放大器（圖 3 — 19）組成。

【三斜晶系】（ Triclinic system ）

在晶體分類中凡三個軸長短不等，而且彼此間夾角也不相等的，如圖 3 — 20 中 $a \neq b \neq c$，$\alpha \neq \beta \neq \gamma$，稱之爲三斜晶系。

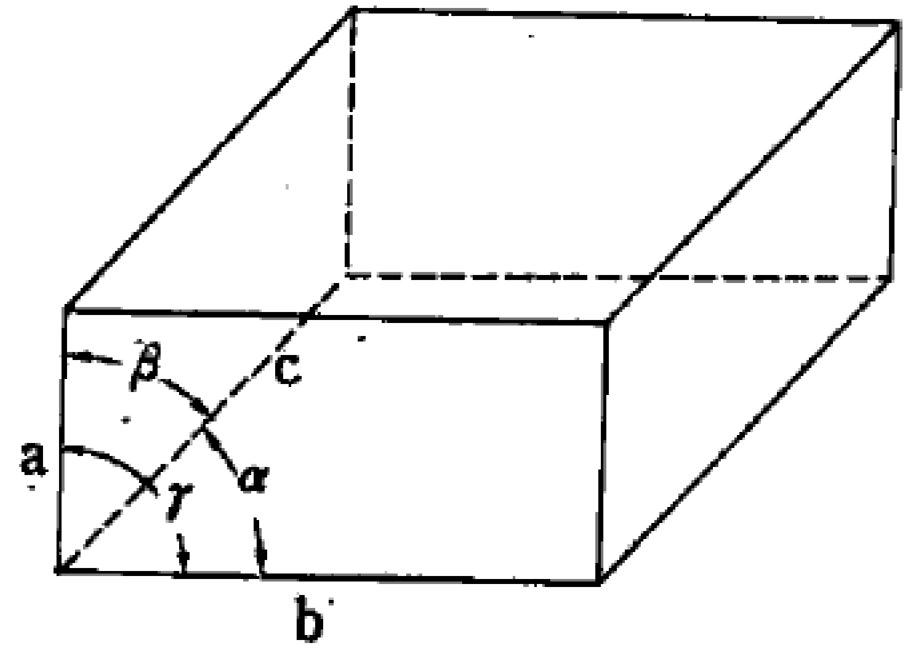


圖 3 — 20　三斜晶系

【三等處理】（ Triage ）

在發生輻射意外事件後，從一大羣受到嚴重輻射的人們中決定那些人急需治療，那些人仍舊完好而不需經過治療，那些人已經回生乏術無可救藥。三等處理通常使用於民防上的醫藥方面。

【三極開關】（ Three-pole switch ）

三刀單擲式開關。

【三極電晶體】（ Triode ）

簡稱三極體。若在兩層 *N* 型鍺之間夾一層極薄的 *P* 型鍺，則成 *N-P-N* 型三極體，如圖 3 — 21；如果是二層 *P* 型鍺夾一層 *N* 型鍺就成 *P-N-P* 型三極體。

【三極電晶體放大作用說明】

基極——電晶體的中層，其功用和三極管的柵極相似。

發射極——基極的一端，其功用和三極管的陰極一樣者。

收集極——功用和三極管的屏極相似的一端，如圖 3 — 21。

放大作用——把一個 *P-N-P* 型三極體接線如圖 3 — 22，*B* 電池和 *C* 電池組的正極接在發射極，*C* 電池組的負極經一外電阻 *R* 與收集極連接。因發射極、基極和 *B* 電池間的電路相當於一個 *P-N* 型二極體的電路，所以電流容易通過發射極和基極間的接合面（簡稱發射接合面），這

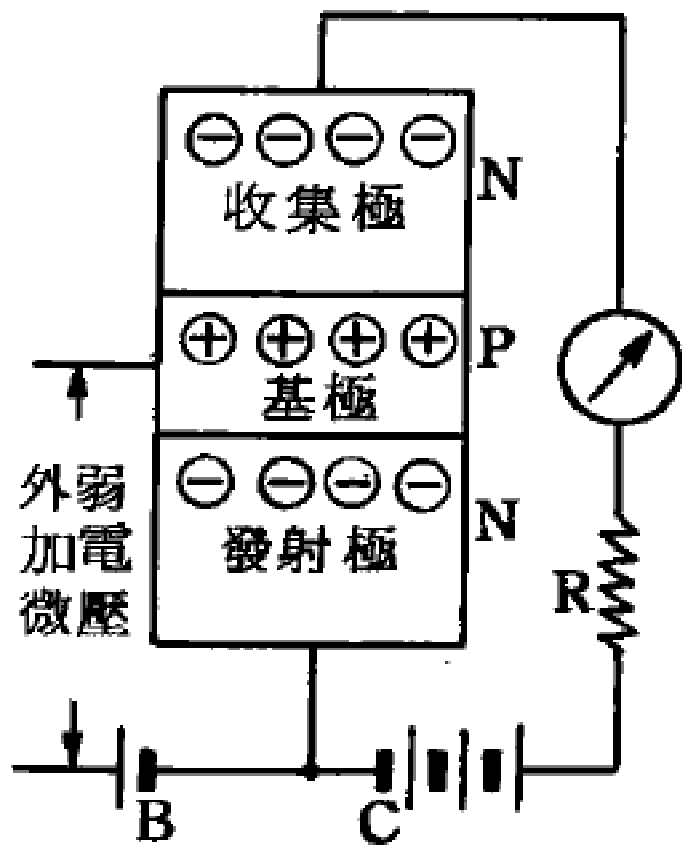


圖 3 — 21

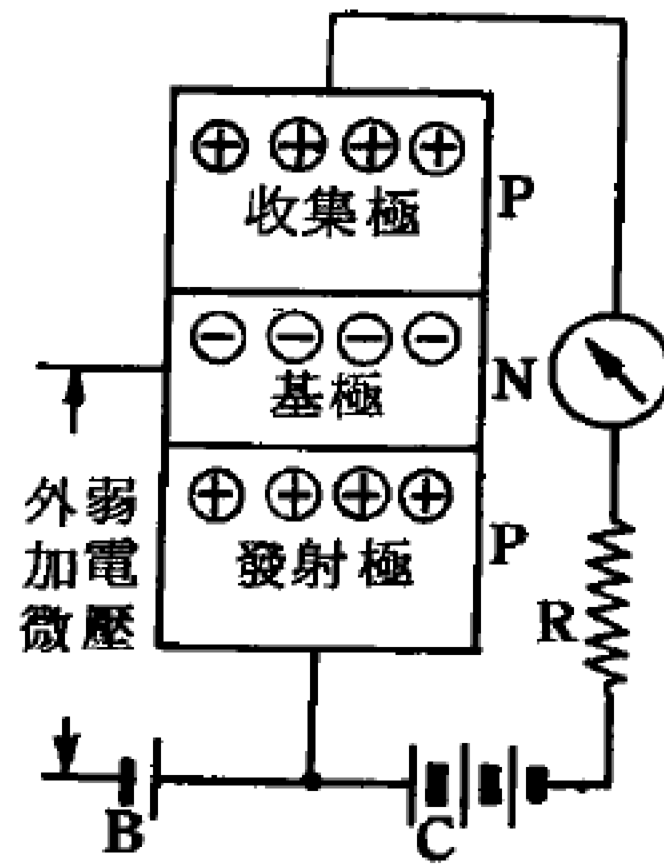


圖 3 — 22

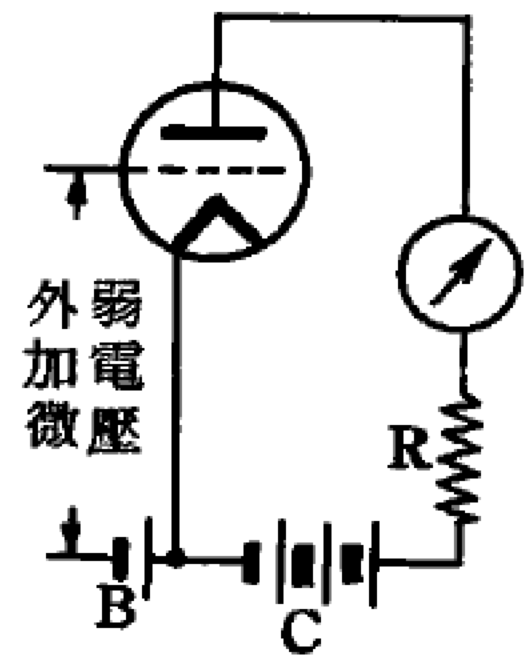


圖 3 — 23

個電流迫使由發射極（ *P*型鍺 ）進入基極（ *N*型鍺 ）的正電“洞”通過有大電阻的收集接合面（ 指基極和收集極間的接合面 ），而到達收集極。依照歐姆定律，電流通過大電阻，在電路中產生較大的電壓。在基極、發射極間輸入一微弱電壓，在收集極、發射極內獲得一個較大電壓，可見此電晶體具有和三極眞空管（ 如圖 3 — 23 ） 一樣的電壓放大作用。*N-P-N* 型電晶體電路，除了*B*電池和*C*電池組的兩極接法相反外，其功用和前述的*P-N-P*型者完全相同。

【三極管】（ Triode ；Audion ）

其原文全名爲 *three-electriode vacuum tube* 簡稱“ *triode* ”。西元1907年，佛瑞斯特（ *Lee De Forest* ）將第三個電極，也就是控制柵（ *control grid* ） 或簡稱爲柵極，加在二極管的屏極與陰極之間，使之成爲能夠放大微弱無線電信號的三極管（ *triode* ）。 由此導至大家所熟悉的通信、廣播、電子學等一般的發展。

柵極很靠近陰極，柵極與陰極間微量的電位變動，即可以使陰極至屏極的電流發生很大的變化。

屏極陰極間的電壓變動量與柵極陰極間電壓變動量的比 ($\Delta e_p / \Delta e_g$)稱爲放大因數（ *amplification factor* ）。當柵極陰極間電壓變動

Δe_g時，由放大因數可得知屏極陰極間的電壓變化。

從二極管中，知二極管屏流的控制與溫度有關，溫度愈高，屏流愈大，然陰極發射體有一定熔點的限制，因此由溫度來控制屏流甚為不便。

其次兩極間空間距離，距離大空間中電子行進路徑較長，空間電荷密度增大，屏極吸引電子少。反之，距離小，空間電荷密度低，屏流較大，故控制兩極間距離可決定屏流之大小。但由兩極間距離控制屏流，必須由機械來操作，事實上是不可能達成的。

於是二極管屏流控制完全決定於屏壓的變動，然屏壓高至某一數值後，屏壓縱然繼續增加，屏流增加甚微。

同時，由屏壓控制屏流，屏壓需要大量的增加，屏流才有微量的增加。假如，屏極與陰極間置另一電極，此電極在結構上為螺旋細線組成，每匝間有相當空隙，則此電極並不阻礙電子的流動，但此電極上有電位變化時，則有控制屏流的效應。此電極即稱為控制柵。

【構造】

1.外形為一玻璃泡或金屬泡，如圖 3 — 24。

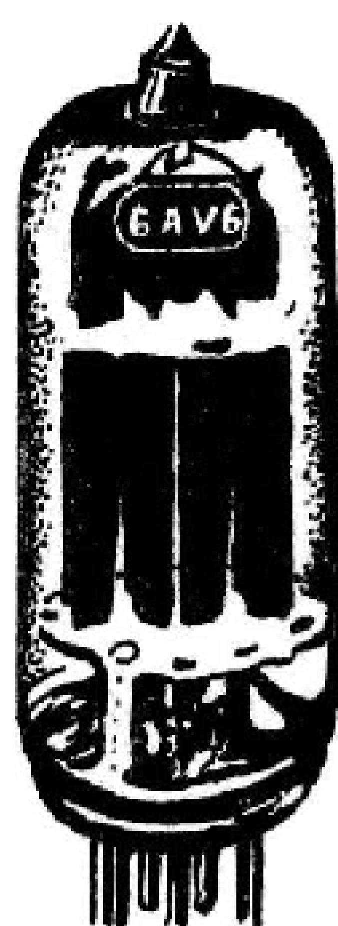


圖 3 — 24

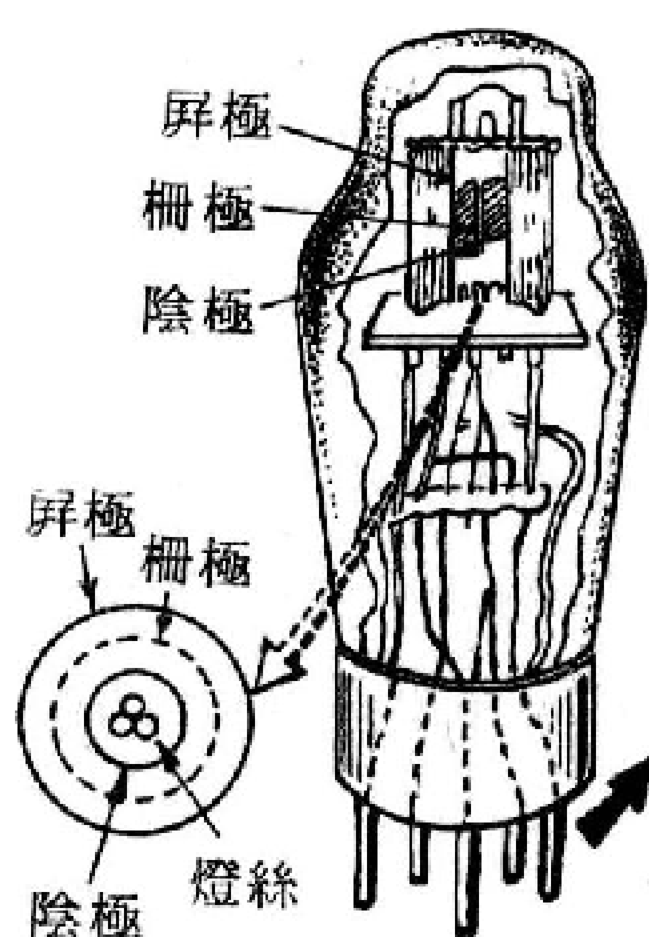


圖 3 — 25

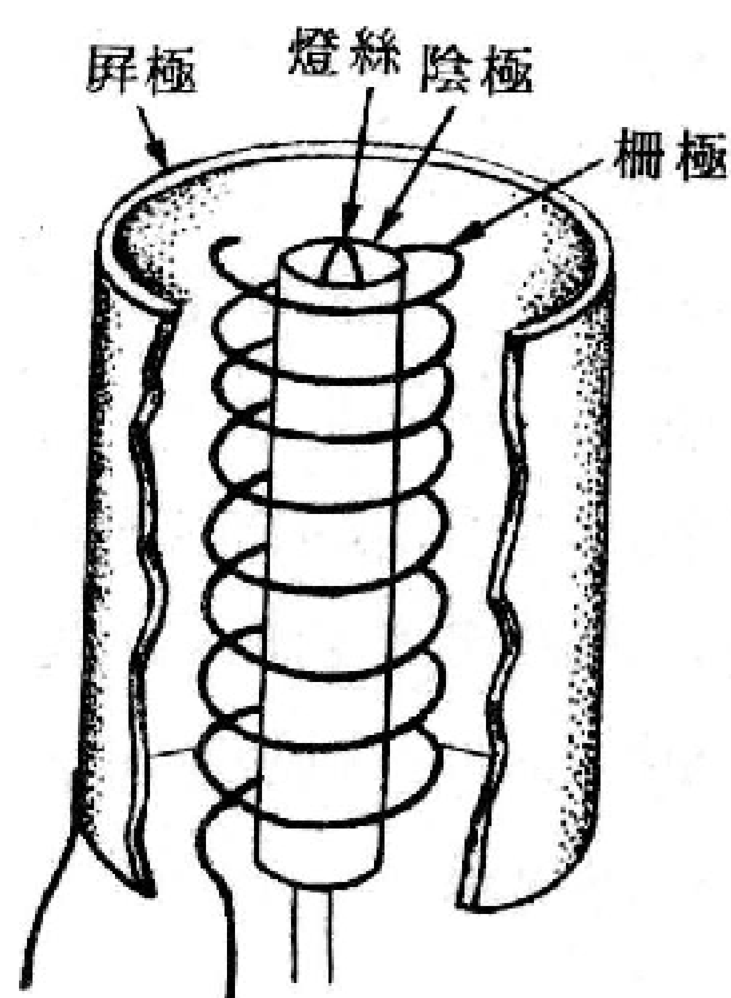


圖 3 — 26

2. 管內爲高度眞空；另有：用作負極的燈絲（*filament*）、用作正極（即屏極）的金屬板（*plate*）及一極細的金屬網狀物——柵極（*grid*）(見圖 3－25、圖 3－26)。此控制柵的結構各有不同，除圓螺旋形外，尚有方螺旋形、橢圓螺旋形及梯形等。由於結構上與設計上的需要，控制柵所用線的粗細，以及螺旋線間，間隙的大小，都曾詳加予以研究過。製造控制柵的材料，有鎳鉻合金、鉬、鐵、鎳、鎢、鉭以及其他合金等。由於所需額定功率及用途不同，三極管在大小上，與極間距離上，都有很大的不同。

3. 管底有五個燈足（燈絲有二足接出）。

4. 表示符號——圖 3－27(*a*)爲直熱式，圖 3－27(*b*) 爲間熱式，亦可用橢圓畫法表示之，如圖 3－27(*c*)，但不常用。

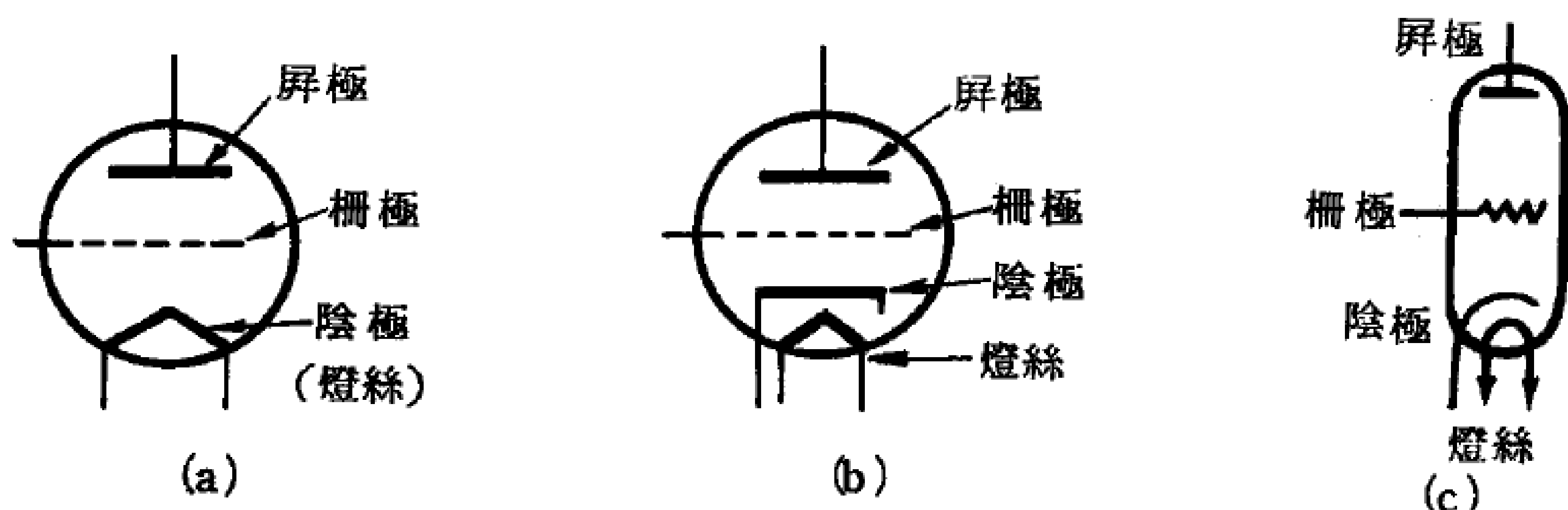


圖 3－27

【作用】

1. 燈絲由局部電池組 *A* 熾熱之以發射電子。

2. 屏極與 *B* 電池組之正極相連以吸收電子。

3. 柵極與燈絲間之電位差，稱爲柵極電壓（*grid voltage*）；由此可控制屏極電流。柵極電壓高時，電子通過者多；反之則少。

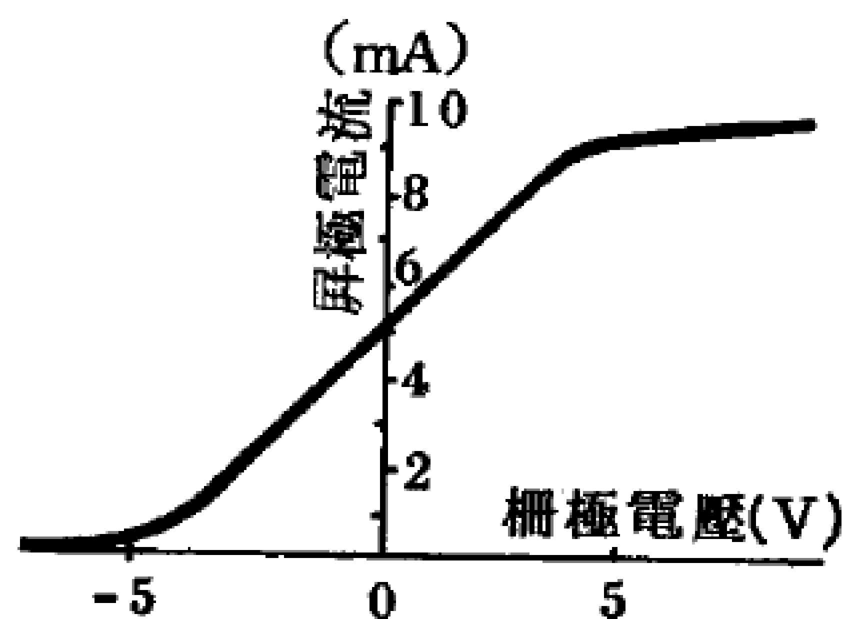


圖 3－28

4.柵極電壓與屏極電流的相應關係，由實驗可得如圖3—28 之特性曲線（ *characteristic curves* ）。

【連接】

如圖3—26 所示，在三極管的屏極與陰極之間，串聯連接電流計與電阻，並接電源或電池（ *B*電池 ），使屏極爲正電壓。另一方面，燈絲接在另一電池（ *A* 電池 ），使對陰極加熱。又柵極則與電阻，電池（ *C*電池 ）作如圖3—29 之接線。如對燈絲通電流，屏極加正電壓時，則與二極管一樣，有熱電子由陰極移向屏極，即屏極有電流流通（ 如圖3—30 ）。

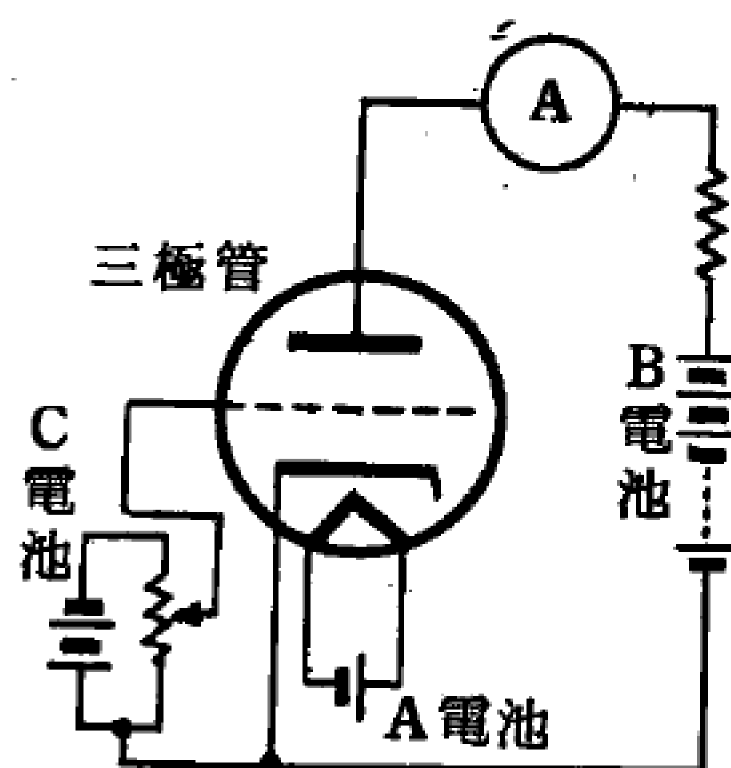


圖3－29

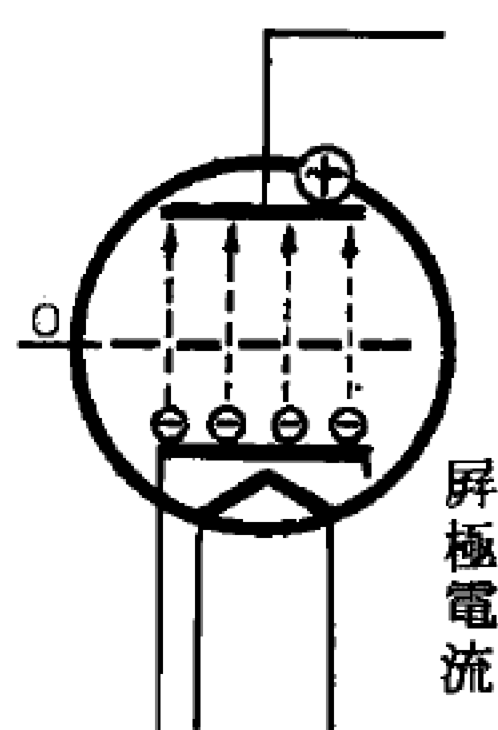


圖3—30

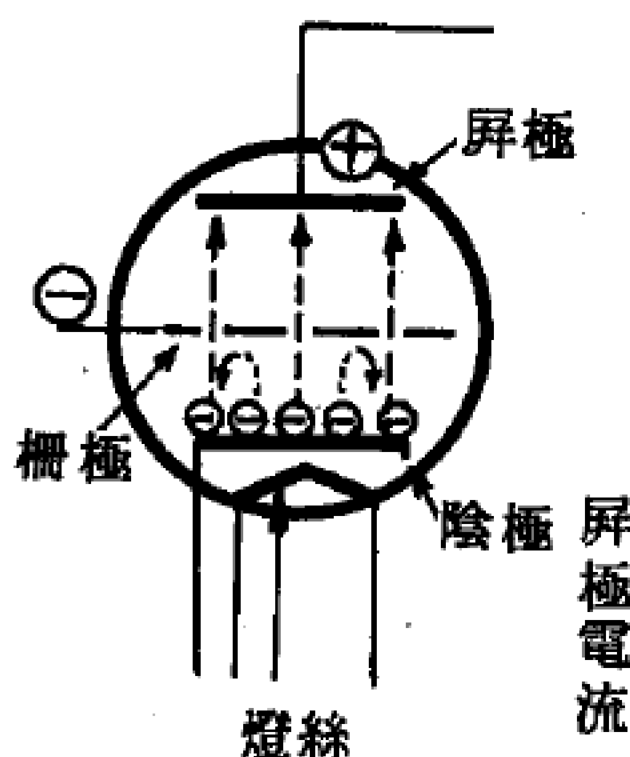


圖3—31

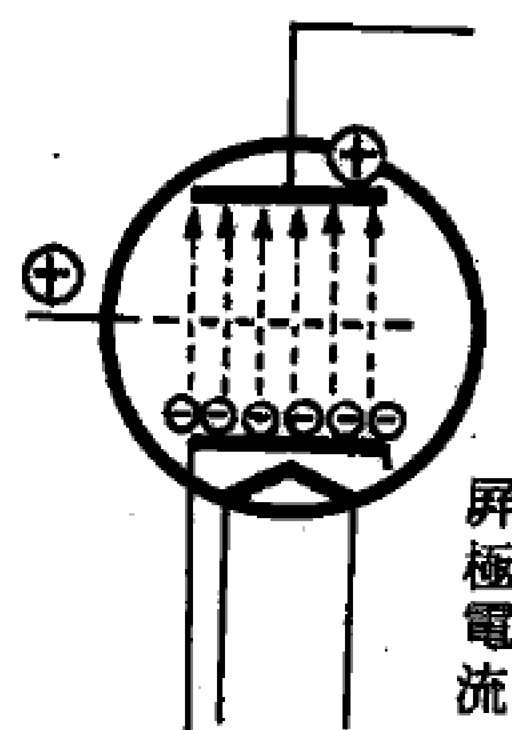


圖3—32

圖3—31 當柵極加負的電壓時，由陰極跳出來的一部分電子，因受柵極推斥回去的關係，達到屏極的電子數便減少，亦即屏流減少。如把柵極電壓愈向負的升高，則屏極電流即愈減小。因此柵極相當於一閘門作用，控制屏流的增減。

反之如圖3—32 ，如把柵極電壓由零伏特變爲正時，陰極的電子因受柵極與屏極的雙重吸引，而都要朝屏極方向移動，往屏極的電子數便增多，即屏極電流增大。

由這樣，使柵極電壓正負變化，或使電壓強度變化，都可改變屏極電流。

三極管因柵極比屏極靠近陰極，所以，如對屏極與柵極加同樣的電壓時，則加在柵極的比加在屏極其與陰極之間的電場要強。因此，欲改變屏極電流時，與其改變屏極電壓，不如改變柵極電壓有效。

【三極管的有效範圍】

設屏極電壓一定，逐漸增加柵極的正電壓，屏流開始增加。當屏流增至某一定值時，縱然柵極正性不斷的增加，屏流不再上升，此屏流到達最大一點時之柵極電壓，謂之柵極飽和偏壓（*saturation bias*）。

反之，加入柵極爲一負性電壓，當負電壓逐漸增加時，屏流開始減低，但柵極負電壓達到使屏流等於零時，此負電壓謂之截止偏壓（*cut-off bias*）。

因此三極管電壓應受限制外，柵極電壓控制屏流亦必有限制。實際上，爲避免柵極電流，柵極是不採取正壓控制屏流。雖則如此將減低了屏流的量，但是對於放大效應比較有利，除非在不考慮因柵流之產生失眞，通常柵極使用正壓是被限制的。

三極管是放大器、整流器和濾波器等的重要元件。

【三調諧鑑別器】（The triple-tuned discriminator）

三調諧鑑別器或稱曲爾浮士鑑別器（*Travis discriminator*）。此一電路對振幅之變化很靈敏，故必須在其前面加限制器。

圖 3－33 所示爲制式之三調諧鑑別器，此電路內含有兩個二極體，每一個都有它自己的調諧輸入電路及 *I.F.* 濾波器網絡。鑑別器之輸入係從限制器之輸出調諧電路，經變壓器耦合而至二極管調諧輸入電路。限制器之輸出（L_1C_1）調諧至 *F.M.* 信號之中心頻率，二極體調諧輸入電路中之一個（假定爲 L_2C_2）調諧於較中心頻率較高之頻率，另一個則調諧於較低之頻率，並且使 L_2C_2 及 L_3C_3 之諧振頻率與中心頻率之

差相等，當*F.M.*信號在中心頻率時，經變壓器作用，在L_2C_2及L_3C_3

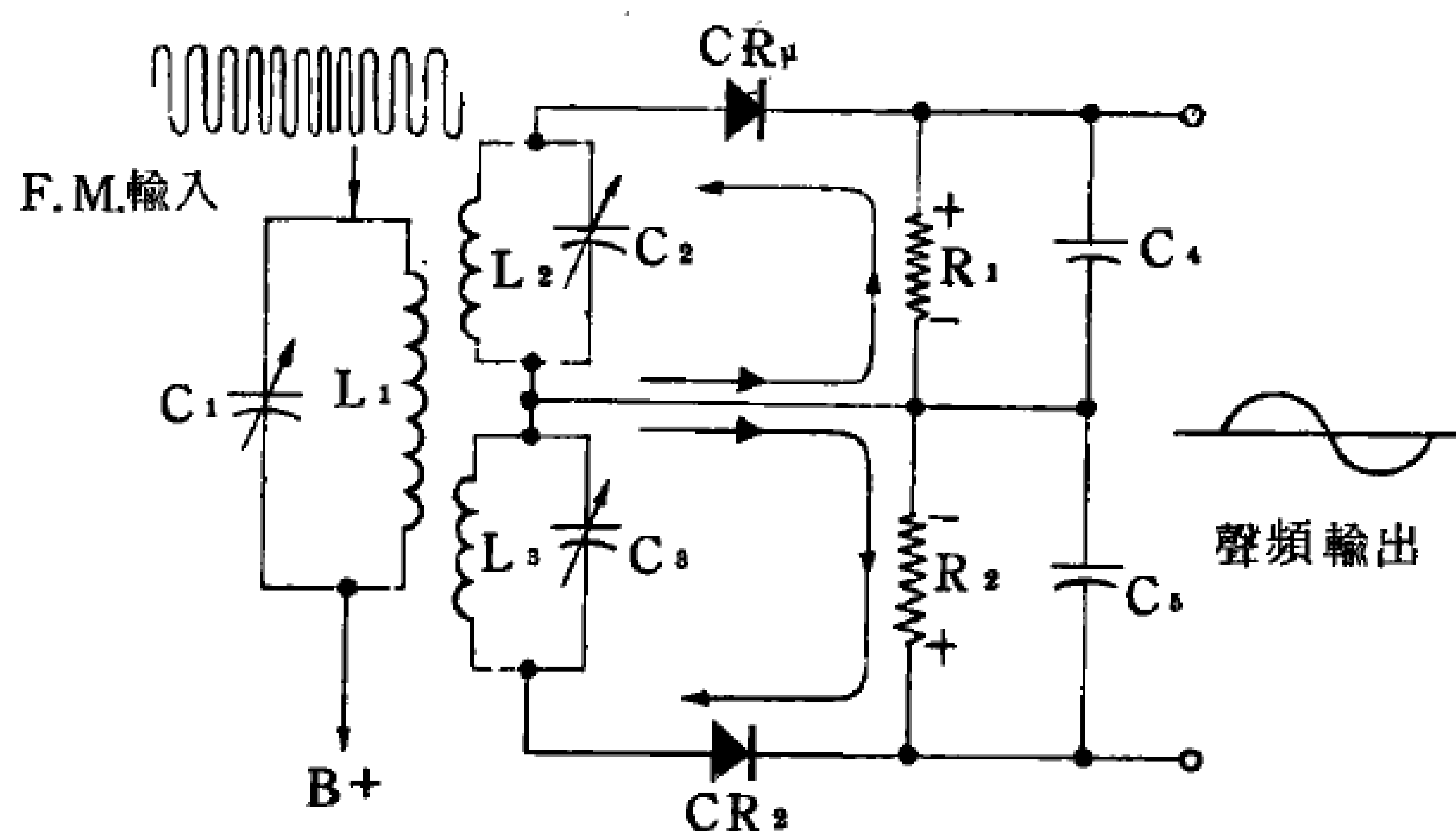


圖 3 — 33
三調諧鑑別器之三個調諧電路，調諧於三個不同之頻率。L_1C_1 調諧於信號之中心頻率。L_2C_2 調諧於中心頻率以上之頻率，L_3C_3 調諧於中心頻率以下之頻率，此兩頻率與中心頻率之差應相等。所以每一二極體之輸出，因輸入頻率之偏移而變，在中心頻率時，兩二極體所產生之輸出相等，彼此互相抵銷。

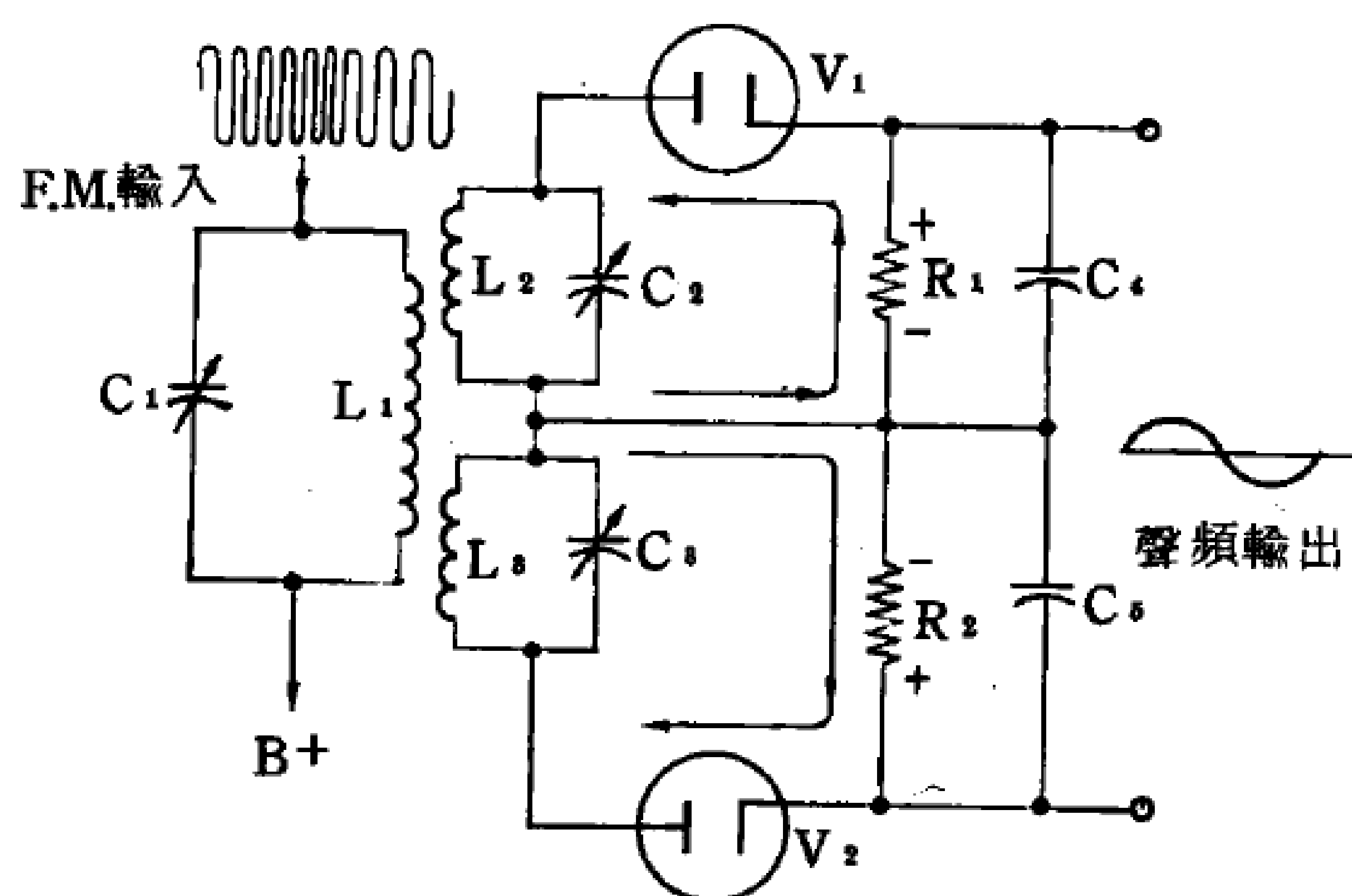


圖 3 — 34
電子管之工作（用電子管二極管與用半導體二極體之鑑別器工作情形相同）

內所感應得之電壓彼此相等，惟電壓較小。就二極體之方向而言，此兩電壓之極性相同，因變壓器繞線之接法，使 L_2 頂與 L_3底經常保持於相同之極性。由於此兩個輸入電壓相等，故兩個二極體之導電亦相等，因 R_1 及 R_2之值相等，同爲兩二極體之負荷電阻，故所產生之電壓降亦相等，電容器 C_4 及 C_5 將二極體電流中之 $I.F.$部濾掉。

中心頻率時，R_1 及 R_2兩端所產生之電壓，大小雖相等，但對地而言，則極性相反。又因聲頻輸出取自反向串聯兩電阻之兩端，故在 F.M. 信號中心頻率，此鑑別器之淨輸出電壓爲零。

如輸入信號偏移至中心頻率以上時，此頻率與 L_2C_2 之諧振頻率靠近，而與 L_3C_3 之諧振頻率遠離。所以 L_2C_2 所產生之電壓較 L_3C_3所產生者爲大。V_1（或CR_1）之導電大，而V_2（或CR_2）之導電小。因此R_1 兩端所產生之聲頻電壓增加，而R_2 兩端之聲頻電壓減少， 又因 R_1 兩端之正電壓大於 R_2 兩端之負電壓，故結果電壓爲一正的輸出電壓。輸入信號之頻率愈向中心頻率之上偏移，R_1 兩端之電壓超過 R_2兩端之電壓愈大，故正輸出電壓亦愈大。

當輸入 F.M.信號向中心頻率以下偏移時，其情形正相反。此時調諧電路 L_3C_3 所感應之電壓較 L_2C_2 者爲大，V_2（或CR_2）之導電較V_1（或 CR_1）之導電大，R_2 兩端之負聲頻電壓超過R_1 兩端之正聲頻電壓，所以聲頻輸出爲負。照此方法進行，故鑑別器之聲頻輸出電壓，因輸入信號頻率之變化，而在零電壓之上下變化。

【三稜鏡】(Prism)

用玻璃或水晶製成的透明三角柱。光線所通過之兩面，謂之三稜鏡之折射面。此兩面間之角謂之三稜鏡角。又此兩面相交之直線，謂之三稜鏡之稜。與此稜成直角之橫截面，謂之三稜鏡之主截面。圖 3 — 35 爲其主截面，以AB光線投射於其面上，在B點折射，進入三稜鏡內，而偏向過該點之法線，取 $\overline{BC}$ 方向，在C點折射，復入空氣中，而遠離過

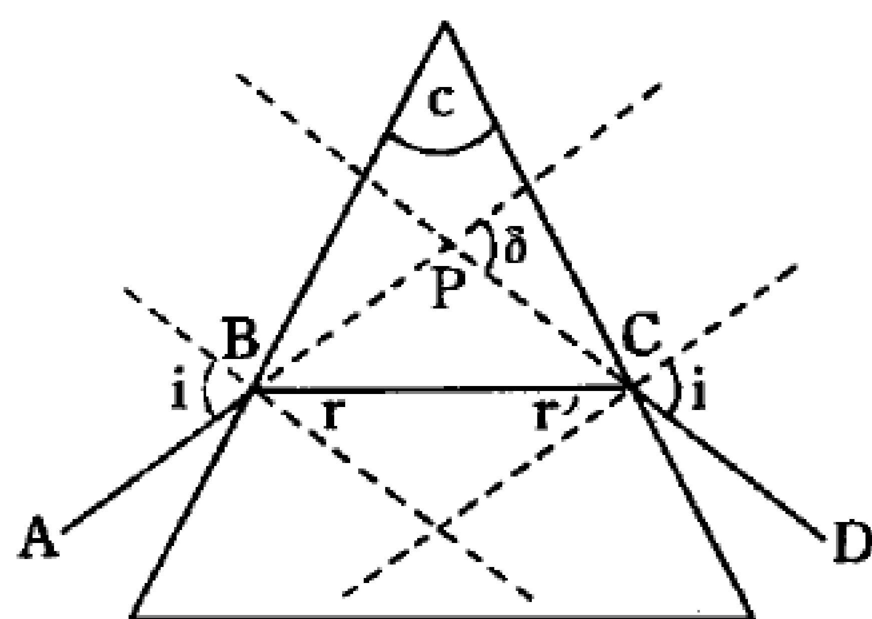


圖 3 — 35

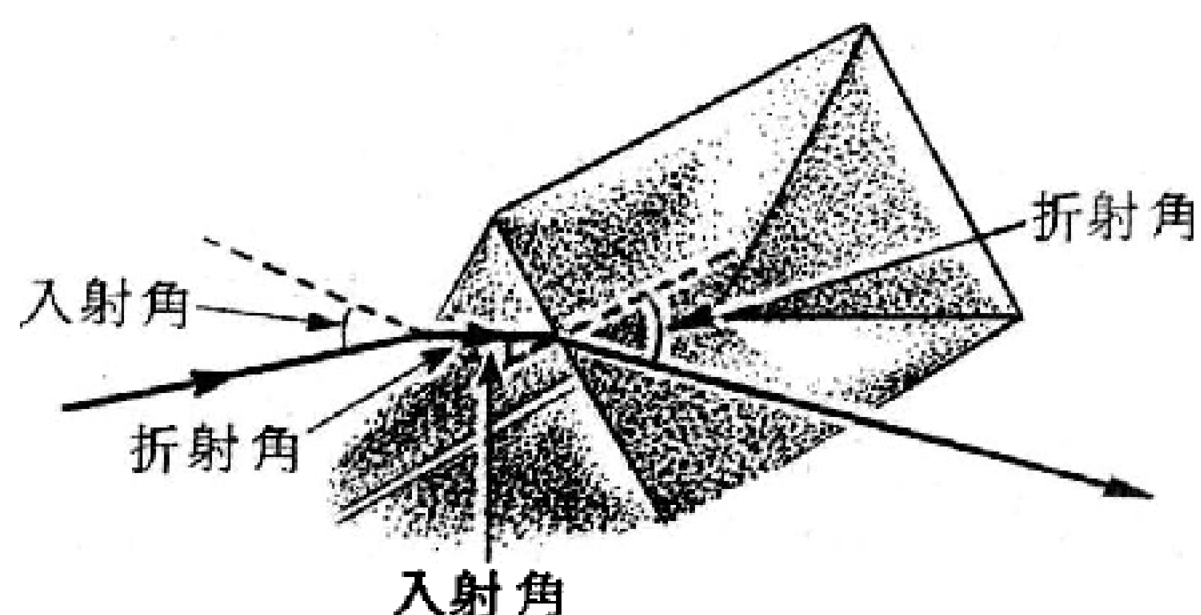


圖 3 — 36　稜鏡的光折射

該點之法線，取 $\overline{CD}$ 方向，$\overline{AB}$ 與 $\overline{CD}$ 之延長線，交於 P 點，所成之角 δ，爲光線通過三稜鏡後，與原來方向之差異，謂之偏向角（*angle of deviation*）。使三稜鏡之稜向上，隔之觀物體時，見物體之像，生於上部。

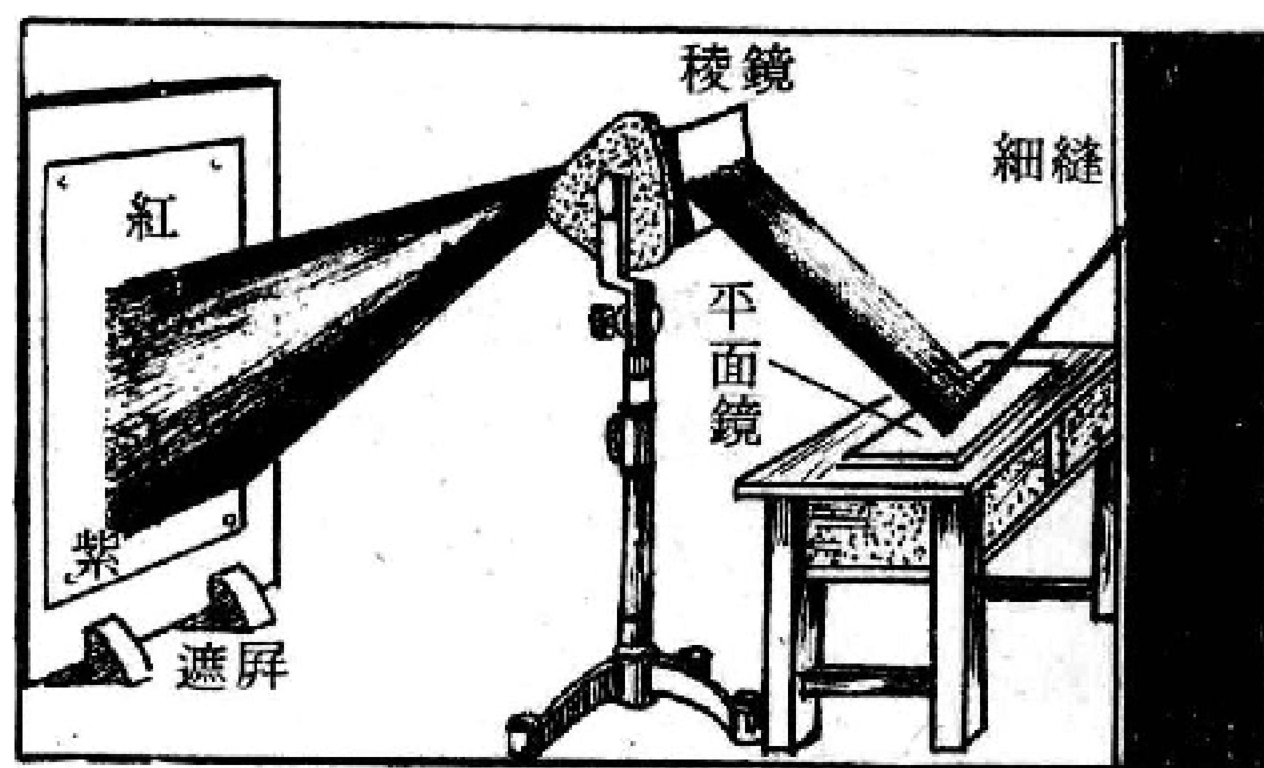


圖 3 — 37　太陽光的光譜

如圖 3 — 36 當光射入稜鏡時，在兩界面作兩次折射，光即向稜鏡較厚部分彎曲過去。折射光線前進的方向如上述依折射定律而定。

三稜鏡主截面的形狀有直角三角形、等腰三角形、等角三角形等之不同，分別稱爲直角三稜鏡、等腰三稜鏡、等角三稜鏡等。除折射光線外，亦能產生色散之現象（*dispersion*）（圖 3 — 37）及作反射之用。

【一次反射】

現象——光線在三稜鏡內所呈全反射的現象。

條件——在主截面內之光線入射於某面時的入射角須大於臨界角。（玻璃之臨界角 = 41.5°）

依據——依反射定律推定方向。

如圖 3 — 38 等腰直角三稜鏡由一次反射，可得與原方向成 90°之最亮射線。

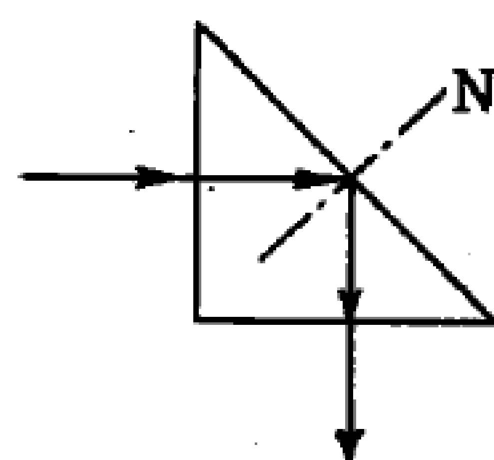


圖 3 — 38

【二次反射】

（現象、條件、依據，同上）

如圖 3 — 39 等腰直角三稜鏡由二次全反射可得方向變更 180°的最亮射線。

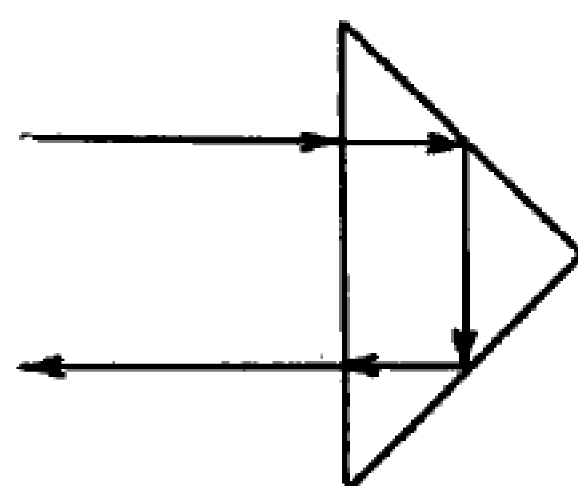


圖 3 — 39

【三稜鏡偏向角、折射率之求法】

1. 求偏向角（見圖 3 — 40）

總偏向角（δ）

$$\delta = \delta_1 + \delta_2$$
$$= (i_1 - r_1) + (i_2 - r_2)$$
$$= i_1 + i_2 - (r_1 + r_2)$$

當 $i_1 = i_2 = i$，$r_1 = r_2 = r$ 時總偏向角最小；故知

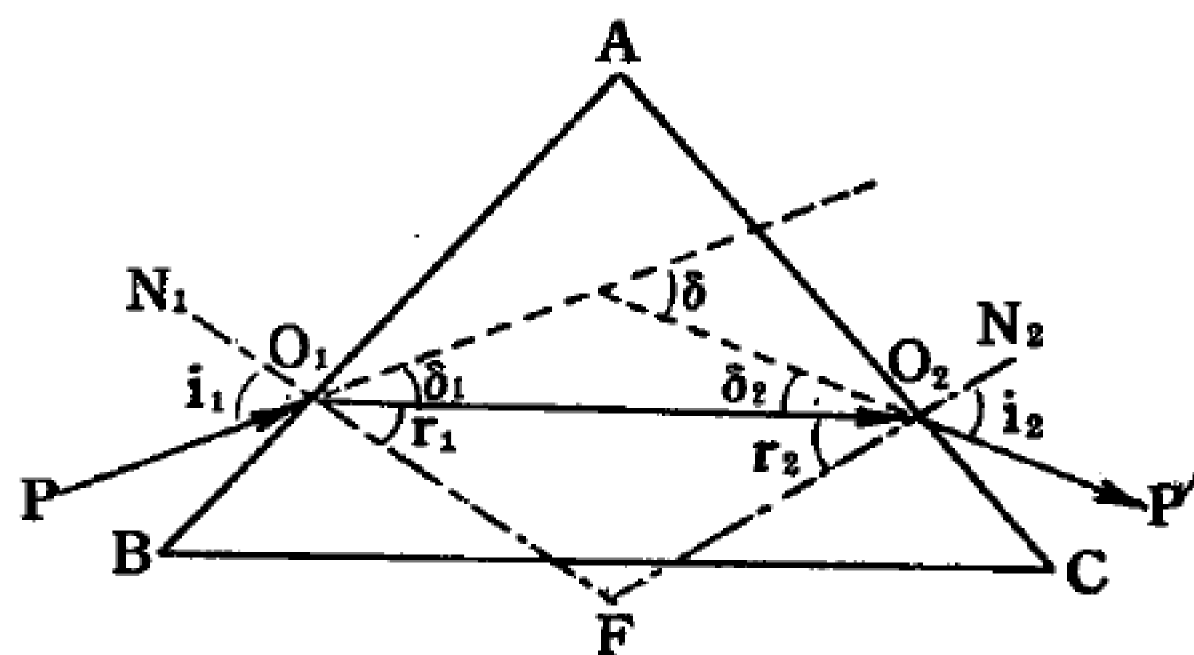


圖 3 — 40

$$\delta_{min} = 2i - 2r$$

∴ 在四邊形 AO_1FO_2 中

$\angle O_1 = \angle O_2 = 90°$

$\angle A + \angle F = 180°$

而 $r_1 + r_2 + \angle F = 180°$

$\therefore \angle A = r_1 + r_2$

即 $\delta = i_1 + i_2 - \angle A$

$\delta_{min} = 2i - \angle A$

2. 由偏向角及稜鏡角求折射率

因在 $i_1 = i_2 = i$ 即 $\delta = \delta_{min}$ 時 $r_1 = r_2$

$\therefore \angle A = 2r$，$r = \dfrac{\angle A}{2}$　$i = \dfrac{\delta_{min} + \angle A}{2}$

$$\therefore \quad n=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{\sin\frac{\delta_{min}+\angle A}{2}}{\sin\frac{\angle A}{2}}$$

【三種基本電子電路】(Three elementary electronic circuit)

所有電子設備均可由少數的基本電路連接而成，僅是三種基本電路的變型而已。

這三種基本電子電路是整流電路、放大電路和振盪電路。

整流電路(圖3—41)將交流電變成直流電。整流電路普遍用於電子設備的電源供給，它可將電源線路上的交流電變爲可供電子管使用的直流電。

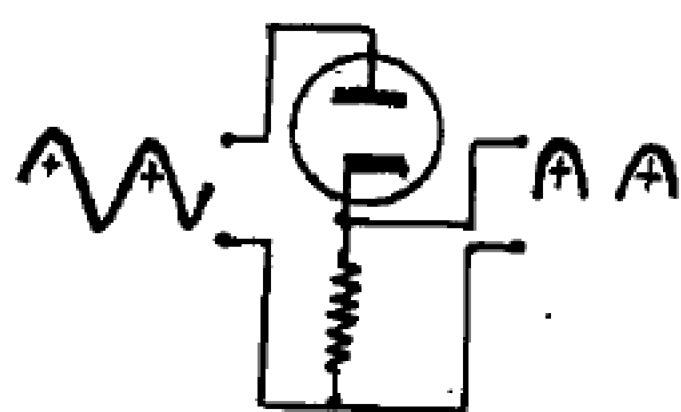


圖3—41　整流電路

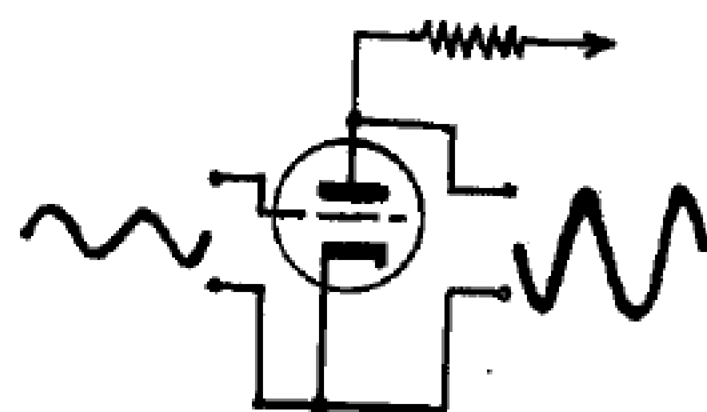


圖3—42　放大電路

放大電路(圖3—42)可將小的電壓變化、擴大或放大成大的電壓變化。放大電路是電子設備中使用最廣最普遍的電路。它們可將僅可偵察的微弱信號，放大成能推動一付耳機、一架揚聲器或一架示波器的強大信號。

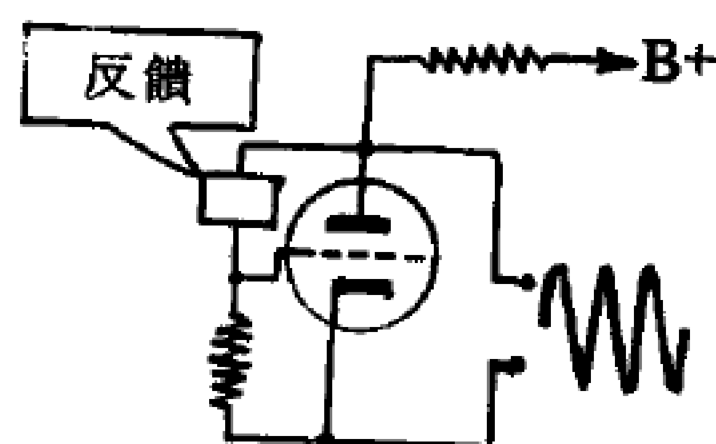


圖3—43　振盪電路

振盪電路(圖3—43)能產生任一特定頻率的交流電壓。振盪電路能產生交流電壓將射頻訊號由一地傳往他地，並廣泛的用以測驗其他電子電路。

【三維歐幾里得空間】(Three dimensional Euclidean space)

在此種空間裏，我們定三個互相垂直的坐標軸 x 、y 、z ，則空間內任何一點的位置即可被決定，由坐標原點至此點之向量稱爲位置向量（ *position vector* ）$\vec{r}$ ，若此點在三個軸的投影位置爲（ x ，o ，o ）、（ o ，y ，o ）、（ o ，o ，z ），則 $\vec{r}$ 的三個分量爲（ x ，y ，z ），所以位置向量的長度平方爲：

$$r^2 = x^2 + y^2 + z^2$$

假若對 Z 軸轉動 θ 角，而成新的坐標系統 $x'y'z'$，則其坐標轉換式（如圖 3 — 44 ）爲：

$$x' = x\cos\theta + y\sin\theta$$

$$y' = y\cos\theta - x\sin\theta$$

$$z' = z$$

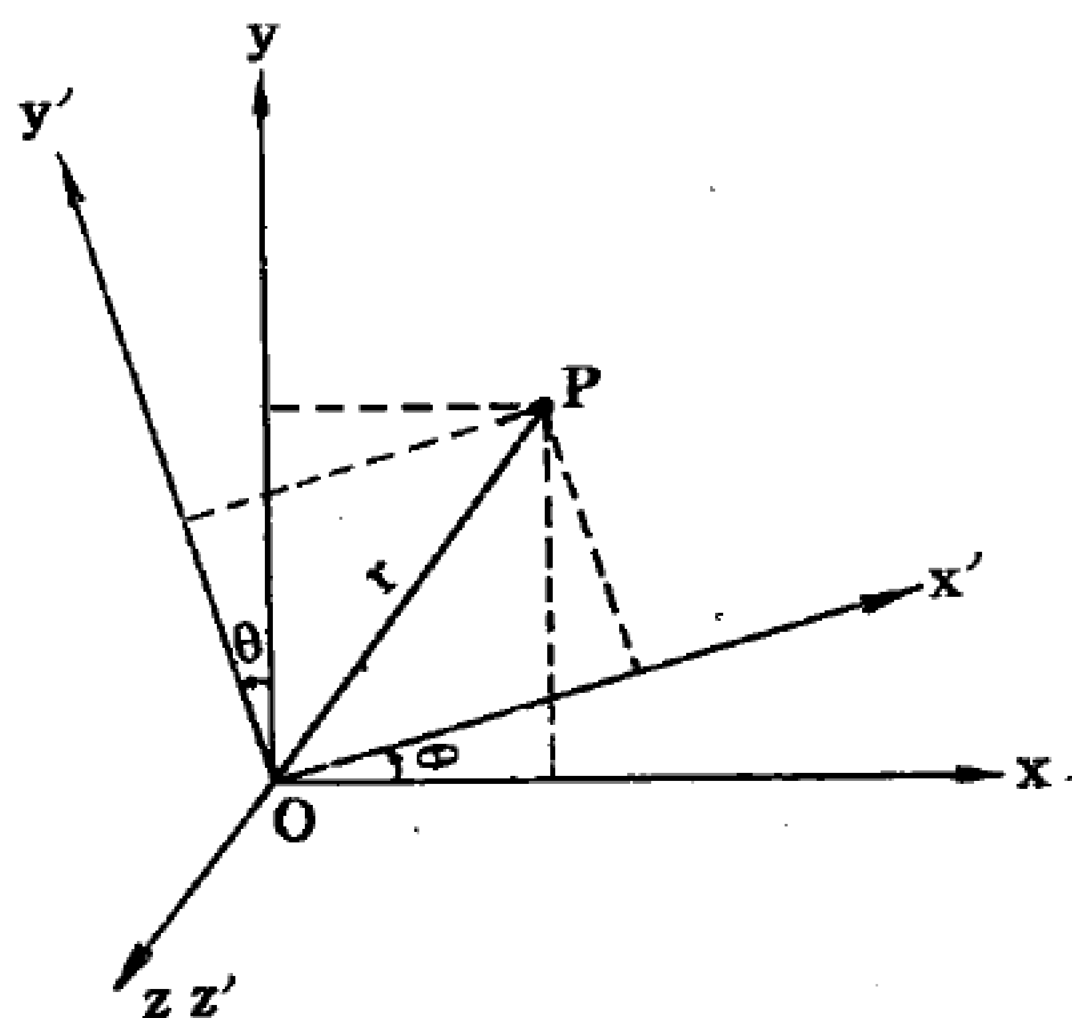


圖 3 — 44

將 x-y-z 坐標對 Z 轉動 θ 角即成 x'-y'-z' 坐標，虛線表示在 x-y 面上的一點在兩坐標的投影。

若位置向量在新坐標內的分量 $\vec{r}'$ 爲（ x' ，y' ，z' ），則其長度的平方爲：

$$r'^2 = x'^2 + y'^2 + z'^2$$

$$= (x\cos\theta + y\sin\theta)^2 + (y\cos\theta - x\sin\theta)^2 + z^2$$

故

$$r'^2 = x^2 + y^2 + z^2 = r^2$$

所以，經過一轉動轉換（ *rotational transformation* ），位置向量的長度平方不變。反過來說，假若一連續性的坐標轉換使位置向量的長度平方不變，則必爲轉動轉換。

【上升氣流】（ Updraft ）

空氣流動的方向爲向上空者。上升氣流（如圖 3 — 45 所示）中

的空氣會膨脹、冷卻，使空氣中的水蒸氣凝結而形成雲，並使天氣變壞。上升氣流的主要成因有四：

1. 地上附近的空氣暖和而上升。

2. 空氣沿著山腰而上升。

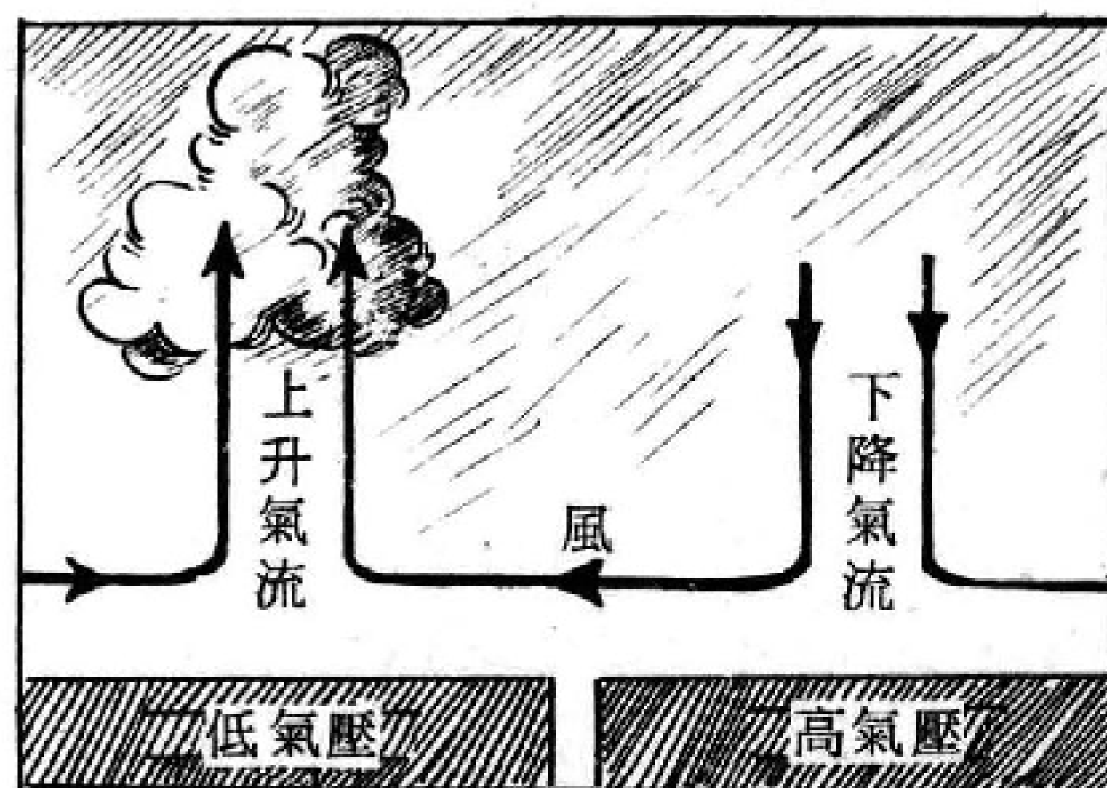


圖 3 — 45　上升氣流與下降氣流

3. 暖和的空氣遇到冷空氣，前者便越過後者的上面而上升。

4. 吹向低氣壓的中心附近的空氣會上升。

【上自旋】(Upward spin)

詳閱“自旋角動量(*Spin angular momentum*)”條。

【上拋運動】(Upward projectile motion)

初速度V_0之物體，沿直線向上，因與重力加速度g方向相反，若以初速度之方向為正，則g之方向為負，應於其前加上負號，與落體運動公式相同。

$$V_t = V_0 - gt$$

$$h = V_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$V_t^2 = V_0^2 - 2gh$$

式中h為上行之高度

當$t = \frac{V_0}{g}$時，$V_t = 0$，物體不能再向上升，由開始運動至停止時，所進行的路程，即其所能達到的高度$h = \frac{V_0^2}{2g}$。自此以後，物體就往下墜，重返地面，即$h = 0$，當$t = 2\frac{V_0}{g}$的時候。故由運動開始到

再達地面的時間，恰等於由地面達最高點的時間之二倍。換言之，由地面至最高點，及由最高點降至地面，經歷的時間必相同。

【上昇軌道】(Ascent trajectory)

由極大高度（遠地點）處發射出之航具所運行之路線稱爲上昇軌道，亦稱升高軌道。

【上級火箭】(Upper stage rocket)

詳閱“第一級火箭（*First stage rocket*）”條。

【上層探測者】(Topside sounder)

設計用來自游離層（或稱游子層 *ionized layer*）上測量游離層內離子密度的人造衛星。

【上壓力】(Upward pressure)

液體中任一水平面，受有向上的壓力，其大小恰等於該平面內每單位面積上所承受的水柱重量。設在液面下 h 厘米處的水平上面有一單位面積 BC ，如圖 3 — 46 ，則這 BC 面上因支持液柱 $ABCD$ 的重量，必受到向下的壓力，稱爲下壓力。同時這 BC 面上因爲抵抗下壓力的緣故，就生向上的壓力，此壓力簡稱爲上壓力。

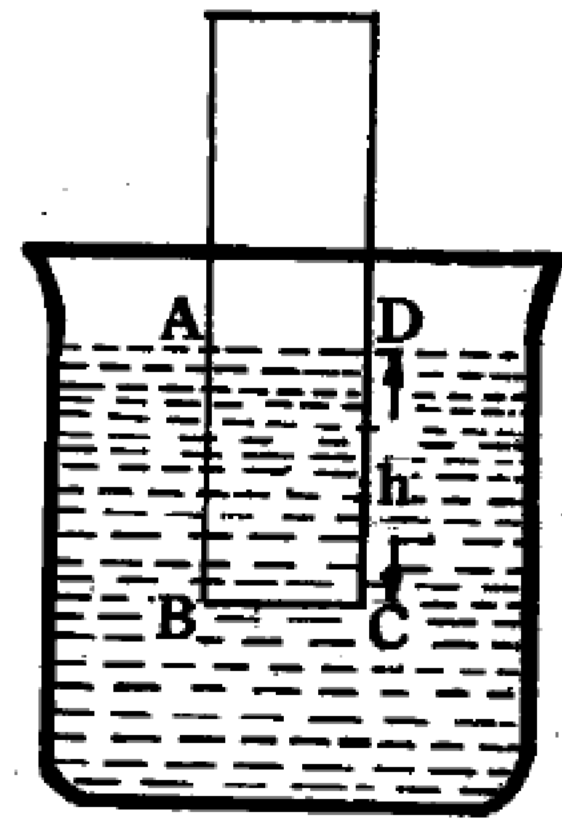


圖 3 — 46

把一塊硬塑膠板，用手緊密地按在一只開口的玻璃圓筒下端，一同壓入水內（如圖 3 — 47 所示），然後將手放鬆，則塑膠板不會掉下來。

再由上端筒口將水徐徐注入，並注意塑膠板在水中的情況，待筒內的水面高度等於筒外時，則發現塑膠板掉下（如圖 3 —48

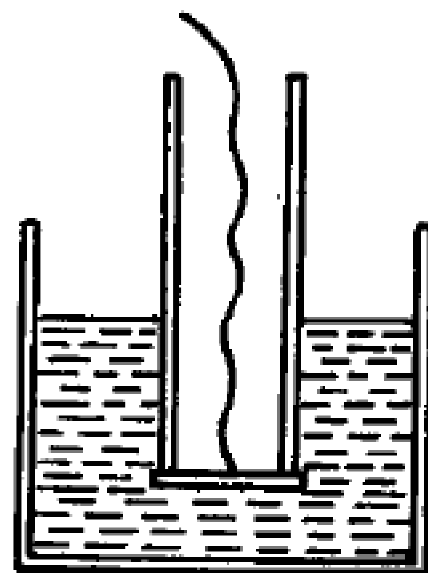


圖 3 — 47

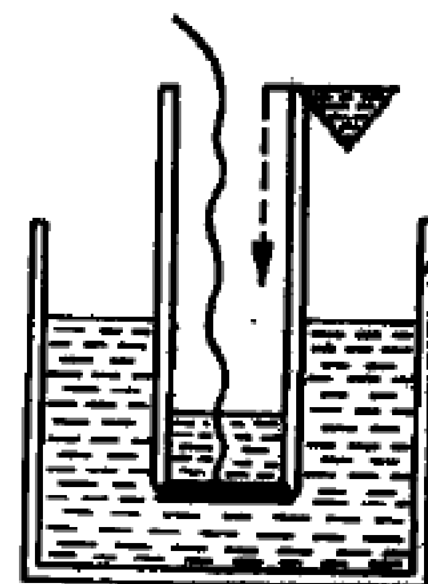


圖 3 — 48

所示）。

由上述第一步驟實驗中我們發現，塑膠板在水中必定受有向上的壓力，才不會掉下來。由第二步驟實驗中，可知此上壓力的大小恰等於該平面內每單位面積上所承受的水柱重量。

【下自旋】（ Downward spin ）

詳閱“自旋角動量（ *Spin angular momentum* ）”條。

【下拋運動】（ Downward projectile motion ）

即落體運動。

詳閱“落體運動（ *Motion of falling body* ）”條。

【下降特性曲線】（ Falling characteristic curve ）

導體的相當於下述情況的伏安特性曲線：當導體上的電壓升高時，導體內的電流減小，即此導體具有負電阻。實際的導體只是在某一定範圍內才具有負電阻，即其伏安特性曲線只有一些個別的下降區段。例如隧道（ *tunnel* ）二極體及其他一些氣體放電電路的特性曲線便具有下降區段。如圖 3 — 49 所示。在四極電子管內，由於二次放射，特性曲線也可能具有下降區段；當屏極電壓上升時，二次放射迅速地增加，屏極的總電流便會下降。在多極電子管內，當各電極上的電壓具有某種數值時，特性曲線中也能得到下降區段。

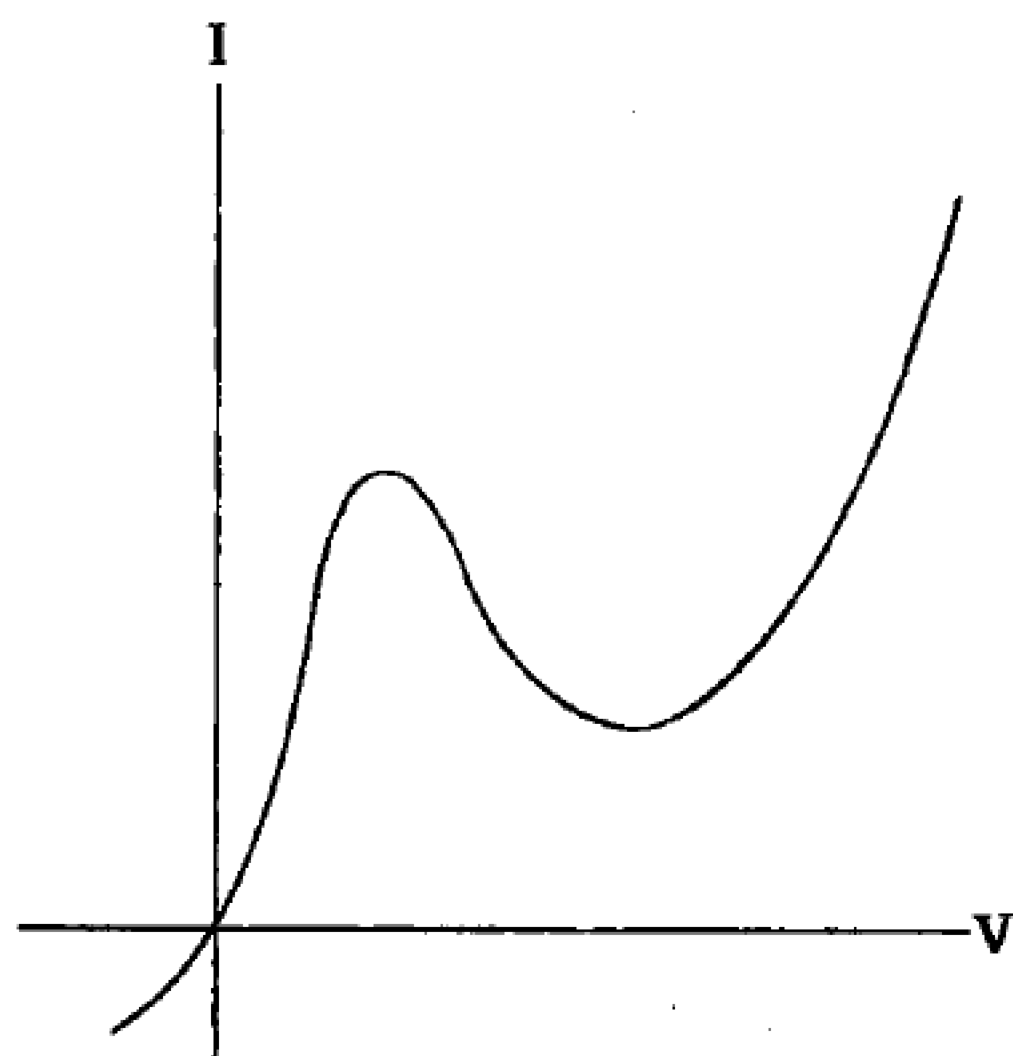


圖 3 — 49
透納二極體之V-I特性曲線

【下降氣流】（ Downdraft ）

由上空向地面吹下來的空氣的流動。下降氣流中（如圖 3 — 45 所示）的空氣會受壓縮而溫度上升，因而雲會消失而成爲好天氣。下降氣流

的主要成因有二：

1. 越過山脈的空氣，沿著山腰而下降。

2. 高氣壓的中心附近，空氣下降，並由中心吹向四方。

參閱“上升氣流（*Updraft*）”條。

【下降時間常數】（Time constant of fall）

脈衝波排除峯尖振幅由最大振幅之70.7%降至26%所需之時間。如圖3—50所示的t_1至t_2的時間。

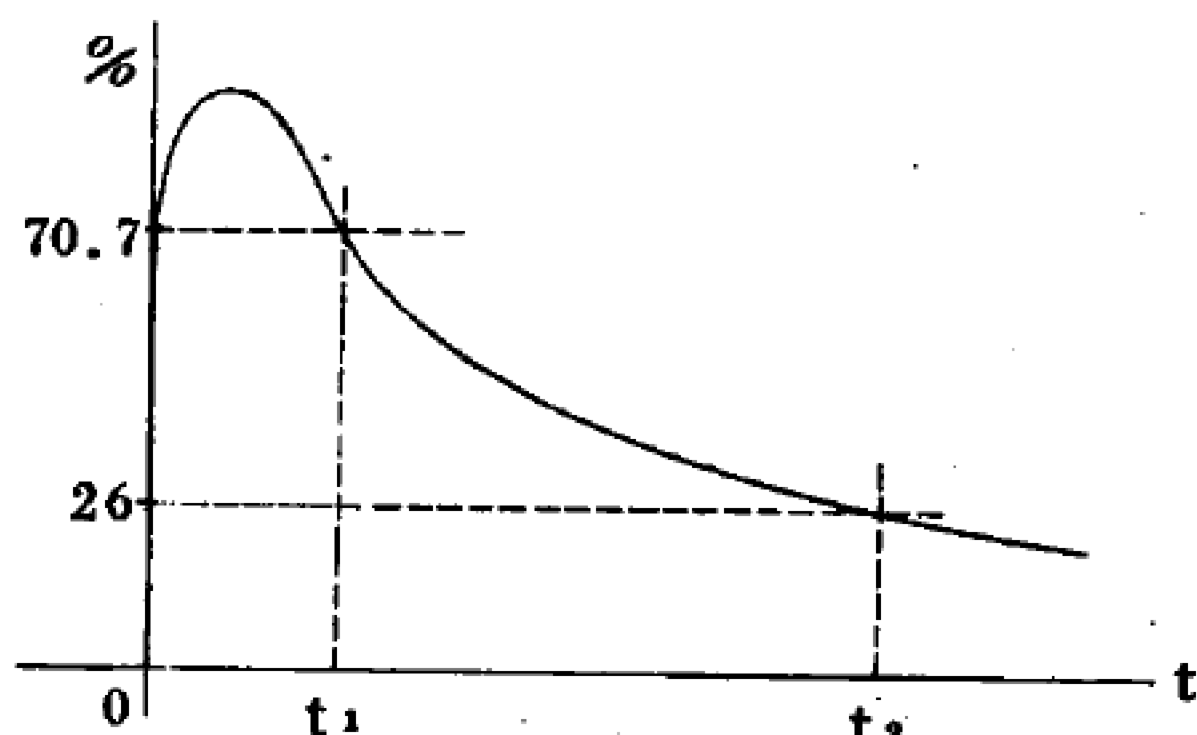


圖3—50　脈衝波

【下壓力】（Downward pressure）

由水柱重量所產生的向下作用力，稱爲下壓力。在靜止的液體中，任一平面上所受的上壓力與下壓力大小相等，方向相反。

參閱“上壓力（*Upward pressure*）”條。

【下邊帶】（Lower side band）

指已調載波之下覆線。

【久倫定律】（Jurin's law）

久倫定律即毛細管現象的定律。謂管內外液面高度之差，與管之半徑成反比。

參閱“毛細管現象（*Capillary tube phenomena*）”條。

【凡何夫奇異性】（Van Hove sigularities）

關於晶格振動頻率的分佈有一個很重要的定理，稱爲凡何夫定理。這個定理說在任何一個振動頻率分佈曲線中至少有兩個鞍點，而在極大值時的斜率必爲負無限大。這些必須出現在頻率分佈曲線上的奇異點，就成爲凡何夫奇異點。

【凡阿侖】(James Alfred Van Allen 1914-)

詳閱"范艾侖(*James Alfred Van Allen* 1914-)"條。

【凡特何夫方程式】(Van't Hoff's equation)

此方程式爲

$$\frac{d \ln k_p}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2}$$

其中 k_p 爲定壓力下的平衡常數，T 是絕對溫度，R 是氣體常數，ΔH 是標準熱容量變化。

【凡特何夫定律】(Van't Hoff's law)

當溶液濃度不太大時，溶液的滲透壓與濃度及絕對溫度成正比，而幾乎與純粹溶劑的壓力無關。此關係初爲皮非弗(*Pfeffer*)所發現，其後凡特何夫由熱力學導出。依照凡特何夫的理論，滲透壓 P 在稀溶液時等於

$$P = RTc$$

式中 R 爲氣體常數，T 爲絕對溫度，c 爲單位體積中的溶質克分子數。溶液中有數種溶質時，c 取其克分子數之和。溶質爲電解質時，即使是稀薄溶液，凡特何夫定律也不成立。

【么正矩陣】(Unitary matrix)

若將矩陣U的行與列互相對調，並將矩陣各元素變爲各元素的共軛複數，稱爲矩陣U的厄米特共軛矩陣，以 U^+ 表示之。若

$$U^+ = U^{-1}$$

即

$$UU^+ = U^+U = I$$

則U稱爲么正矩陣。有限矩陣的么正矩陣必爲正方矩陣。

由向量空間中，基(*basis*)的變換可以用么正矩陣表示。設自基 e 經過U的變換而成基 e'，則任何矩陣算符 A 應變換爲 A'，此時 A' 爲

$$A' = UAU^{-1}$$

這種變換稱爲么正變換。對矩陣方程式而言，經過么正變換後其方程式的形式不變。

么正變換的重要性質是：一矩陣算符的本徵值經過么正變換後，其本徵值仍然不變。用方程式的形式，可以用下式表之：

$$A|m\rangle = a|m\rangle$$

$$\langle m|A|m\rangle = a$$

因爲　$UU^{-1} = U^{-1}U = I$

且　$U|m\rangle = |m'\rangle$

$$\langle m|U^{-1} = \langle m'|$$

故　$\langle m|A|m\rangle = \langle m|U^{-1}(UAU^{-1})U|m\rangle$

$$= \langle m'|A'|m'\rangle = a$$

【么正變換】(Unitary transformation)

詳閱“么正矩陣 (*Unitary matrix*) ”條。

【土星】(Saturn)

土星的著名，乃因它有三個光環和九顆衞星。我國古代的天象學家稱它爲鎮星，更有塡星、信星之稱。參見圖 3 — 51、圖 3 — 52。

土星是太陽系行星中的第二大星，其體積僅次於木星。繞日軌道位置處於木星和天王星兩者之間，共同繞日而旋轉。它在天空中反射著微紅而暗黃色且固定的光，移動很慢，平均每天只移動 0.034度；因此看去像是陰氣森森似的，所以古代的人都以它的出現認爲是不吉祥的，便又稱它爲“惡鬼星”。它看來雖沒有金、木、火等三星那麼明亮，不過總可以用肉眼很容易地

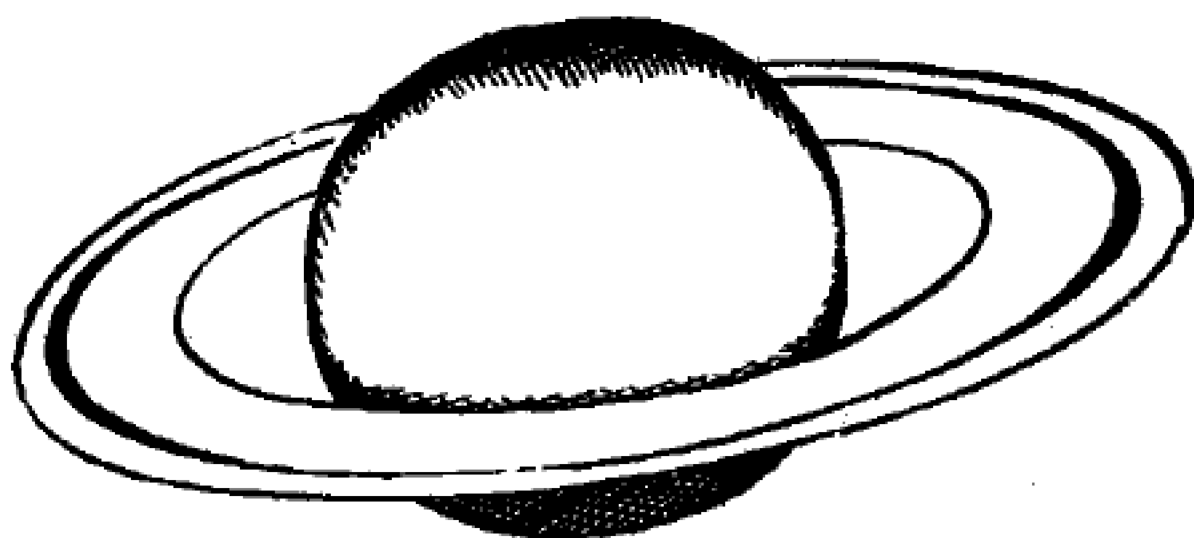


圖 3 — 51　土星視像

看到它；因爲它至少會有一等星那麼亮。土星的“光度”也隨其與地球的位置和遠近的關係而不同，常由0.9等乃變至負0.4等，其眼視直徑由十四秒到二十秒，反照率只有百分之四十二。

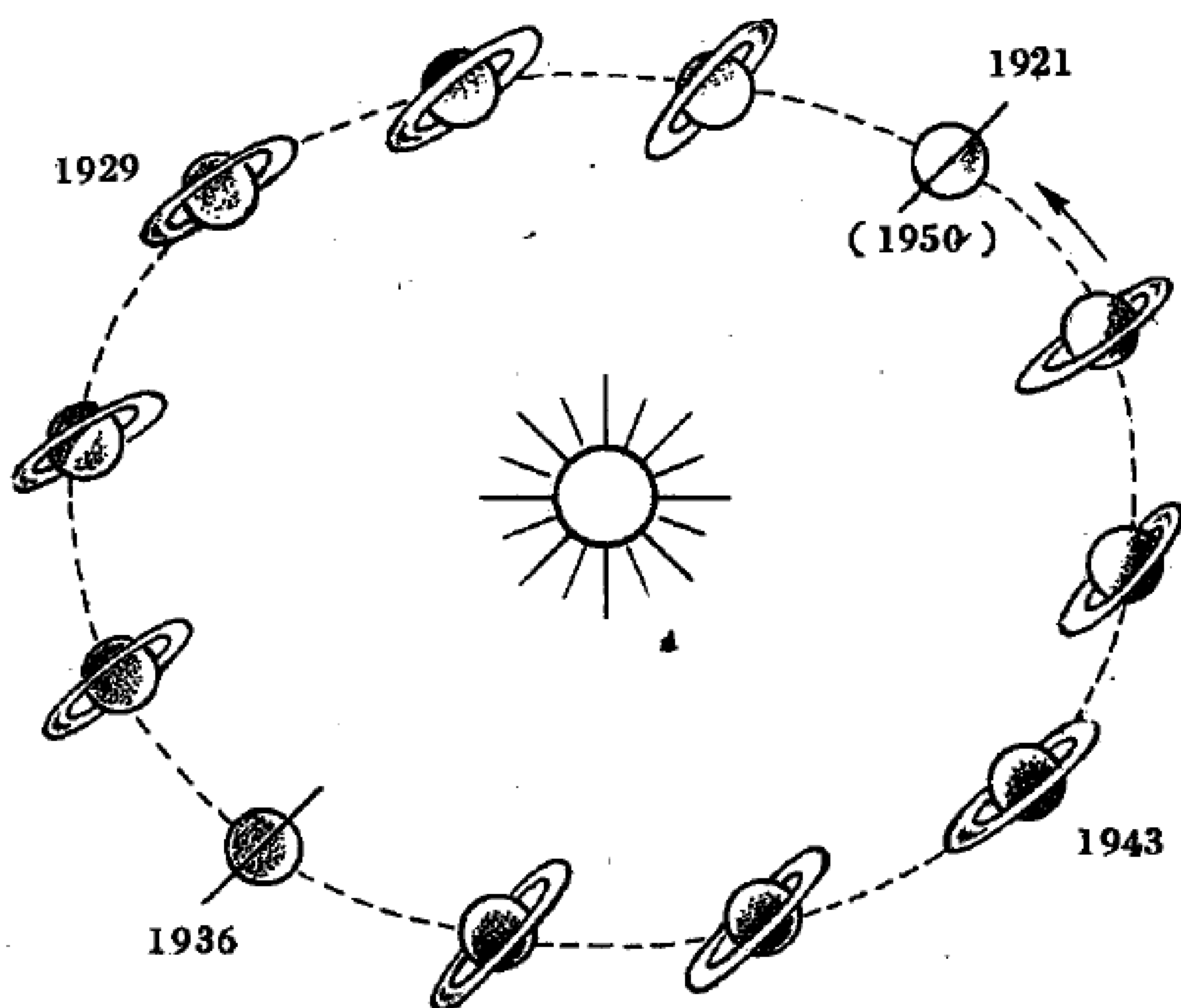


圖3－52　土星公轉週期

土星和太陽的平均距離爲9.5天文單位，約合886,100,000哩，這距離的改變是在911,000,000哩到861,000,000 哩之間。因此，在土星上所看到的太陽，要比我們所看到的要縮小一百倍左右。其軌道離心率爲0.0558，軌道的半徑長爲9.539天文單位，雖則它以每秒鐘6.5哩的速率於其軌道上繞日而廻轉，然而卻需要29.4577 年或是10,759.20 日，才能完成其公轉一周，即稱之爲土星年；公轉看來是很緩慢，但是其自轉時間卻很迅速，與木星差不多，只有10小時14分24秒。因爲自轉的迅速且扁平數量是其直徑的十分之一（按土星赤道直徑是75,100哩；兩極的直徑較短，只有67,200哩），故知其物質密度很小，僅地球密度的八分之一，所以它的兩極才會扁得那麼厲害。它自轉的軸和軌道面傾斜約64 度，因此也有四季之分，但是一季的時間很長，約抵我們7年。

一具天文望遠鏡只能將土星的現狀告訴我們一些，我們在其圓盤上看見了一些亮帶子和黑帶子相雜著與赤道平行。它們的外形比較不固定，也不如木星上的帶顯明。它的赤道帶常呈現一種美麗的淡淡的灰黃色，同時在兩極周圍的地方隱隱作藍色。在這行星上有時看見些光點。它們像是在赤道周圍轉動得比在高緯度處爲更快。我們又看到了很多和木星相似的帶子，這些帶子可能也是因爲土星迅速自轉，而在大氣裏產生的貿易風所形成的。它的整個球體都被很濃厚的濛氣包圍著，然而氣體中卻有點和木星不同，土星上的氨氣比較少，而甲烷（即沼氣）比較多，其大氣主要成分是氫。有許多理由是可以使我們相信土星是一種氣體成分的，雖然它與木星一樣或許有一個比較凝固的核，但兩者可能同樣都是一顆表面（即地殼）尚未凝固的行星。土星表面溫度較木星爲低，約爲零下一百五十三度，其內部密度甚小，是水的 0.71 （按地球密度是水的 5.5 倍），因此其平均密度是 0.64 ，表面引力爲地球 1.17 倍，因此一個 196 磅重的人，如到土星上則將會變成 224 磅的重量了。土星的質量爲地球的 95.02 倍， 但卻只當太陽總質量的三千四百九十六分之一而已。比重僅 0.715，體積是地球的 763 倍，是木星的一半，離心速率每秒是 22 哩，會合週期是 378.1 日，赤道和軌道面傾斜約 26°44′42″。交角是 2°29′25.3″，和黃道傾斜約 1°18′26″，而交角是 28°6′。

【 I 】土星的衛星

在所有的行星球體中，土星的衛星相當多。它本來有 10 個衛星，可惜它的第十顆衛星——（ *Themis* ），曾在 1905 年， 爲彼刻林天文學家在底片上發現到，但經數月後便告失踪了，目前有人疑惑它的存在。依離土星的遠近次序各名爲：一、米瑪（ *Mimas* ）， 二、恩西拉都（ *Euceladns* ），三、特才斯（ *Tethys* ），四、帝歐娥（ *Dione* ），五、瑞阿（ *Rnae* ），六、啻丹（ *Titan* ），七、海波瑞盎（ *Hyperion*）

，八、沙比特（*Sapetns*），九、費壁（*Phoebe*）。其中離土星最近的衛星米瑪，約115,000哩，以22小時37分繞土星公轉一周。然而最大的一顆卻是屆丹，它是全太陽系裏最大的一顆衛星，直徑爲3,550哩，其體積比月球大9倍。質量等於月球的1.86倍，平均密度爲3.5，脫離速度每秒3公里。比水星大，它的表面據稱是有大氣的存在。次大的一顆是瑞阿，直徑爲1,150哩。再次的是沙比特，直徑爲1,000哩。最小的一顆是費壁，直徑只有200哩，同時離開土星亦是最遠，約8,034,000哩；它像木星的第八顆衛星一樣，其運行的方向是和其他的衛星相反的。

【Ⅱ】土星的光環

土星不但有上述九顆衛星，它還有三個光環，濶度約佔土星的半徑，土星能夠在它的上面打旋著。它圍繞著土星，而絲毫沒有抵觸著它。假如我們欲明瞭有關土星與其光環的情形，可以作這種比例：假如把土星縮成爲一直徑僅5寸的圓球時，則其光環面積將展開1尺以上，而其厚度只及一千五百分之一寸罷了。然而，實際上在這內中外三個環中，外環的直徑就有274,000公里，亦就是土星的直徑2.35倍，外環寬16,000公里，中環寬26,000公里，內環寬18,400公里。外環與中環之間有一罅隙名曰卡西尼環縫（*Cassini's division*）寬約4,000公里（爲1675年卡西尼所發現）；而中環和內環中間亦有一個縫，寬差不多是1,600公里，三個環和兩個縫一共寬66,000公里。內環內部和土星赤道只隔11,000公里。外環上面又有一條黑線把它分做兩部分，叫做恩克環縫，中環最光亮，可是並不透明的；外環和內環都是半透明的。這些環很薄，它的厚度只有10至20公里。

至於土星的“光環”究竟是什麼東西構成的？會是連續的固體抑或是液體？那一定是很不穩定，更將是受不起土星、太陽和其他的天體的引力作用，而早已被粉碎了。若是氣體，形狀又不應該那麼固定。早在

1715 年卡西尼就認爲土星光環可能就是上百萬塊的衞星物質碎片所合成的。至 1750 年萊特（*Thomas Wright*）就提出了下列的意見，說：“如果我們有一架能力充分的望遠鏡，我們便會從中間看到土星光環只是無數比那些被稱爲它的衞星的更要小幾千倍的流星物質而已。”直到 1850年天文學家駱煦（*Fdouard Roche*）才用力學方法推出一條原則：假使某顆衞星的密度和其行星相同且在離開行星中心而不到行星半徑的 2.44 倍的地方，那麼行星在這顆衞星上面所生的“潮汐引力”作用，就比衞星的表面張力爲大，無疑的就會把這顆衞星打碎了，故 2.44 這個數字被稱爲“駱煦界限”。土星的環正好是在這個界限裏，因此可說是一羣結不成衞星的碎片。也可能從前有一顆衞星，爲了某種原因而闖進了“駱煦界限”，因而被打碎而成爲了這個環。在最裏面的衞星，米瑪（*Mimas*），離開土星中心等於 3.11土星半徑的地方，這剛好是在“駱煦界限”之外。比較接近光環的幾顆衞星攝動著使環分成三部分，攝動著不許小質點在環縫裏。組成環的小質點的總質量是不會超過土星總質量的二萬七千分之一。從光譜的分析算出在環的內邊緣的質點的公轉週期是 5小時。在外邊緣是 13.7 小時。這充分證明環不是連續的固體或液體了。

【土星年】（Saturn's year）

詳閱“土星（*Saturn*）”條。

【土壤的成分】（Components of soil）

土壤裏的有機物是動植物的遺體經過腐化而形成的，這叫做腐殖質，它的顏色近於黑色。各種土壤都含有腐殖質，不過含量有多少的不同。在灰色土壤裏，腐殖質的含量是百分之二至四，在一般黑色土壤裏是百分之六至十，在高度肥沃的黑色土壤裏是百分之十六至二十。土壤含腐殖質愈多，那麼它的顏色就愈黑。

土壤裏的無機物包括很多的砂和黏土，此外還含有少量石灰質。含

有大量的砂的土壤叫做砂質土，含有大量黏土的土壤叫做黏質土，含砂和黏土的分量很適當的土壤叫做壤土。壤土最適於植物的栽培。

把燒過的土壤用蒸餾水拌和、過濾，再把濾出的水在火上加熱，讓它蒸發，等到水份蒸發完了，就可以看到有一點稍帶白色的物質留下來，這是無機鹽。這無機鹽原來是溶解在水裏的。溶解在水裏的無機鹽在土壤裏是很少的，但它們是植物的重要養料。土壤裏缺乏無機鹽，植物就不能充分發育。

水和空氣也包含在土壤裏。我們用手去摸一摸潮濕的土壤，就可以感覺到有水存在。空氣不僅存留在土塊跟土塊間的空隙裏，也存留在每一個土塊裏面，如果把乾土塊放到水裏，就可以看見氣泡從土塊裏面冒出來。這氣泡就是含在土壤裏的空氣。水是能夠侵佔空氣的地位的，所以土壤裏的水的含量一發生變化，土壤裏的空氣的含量就隨著發生變化。因此在不同的季節裏面，由於雨量的不同，土壤裏所含的空氣的分量也就不一樣了。

根據上面的分析，我們可以知道土壤裏有腐殖質、砂、黏土、石灰質、無機鹽、水和空氣。根從土壤裏吸收水份、溶解在水裏的無機鹽和空氣裏的氧氣。如果土壤裏缺乏水份，植物就要枯死；缺乏溶解在水裏的無機鹽，植物就不會長得茂盛；缺乏空氣，根就不能進行呼吸，結果會發生爛根現象。

【大三和音】（Major chord）

三音頻率之比爲4：5：6者，有：

1.主三和音（*tonic triad*）又稱第一三和音，即*C*、*E*、*G*相當於*do*、*mi*、*so*。

2.屬三和音（*dominant triad*）爲第二三和音，即*G*、*B*、*D*相當於*so*、*si*、*ṙe*。

3.次屬三和音（*subdominant triad*）爲第三三和音，即*F*、

A、*C* 相當於 *fa* 、*la* 、*do* 。

將此三組大三和音依頻率高低排列之，即爲樂譜中之大音階（*major scale*）。科學音調將*C*定爲256次/秒。音階中任何音均可定爲基音，此音即調名。如*C*調，即以*do*音爲基音。

【大小級】（Order of magnitude）

詳閱“數量級（*Order of magnitude*）條”。

【大卡】（Large calorie；Major calorie）

使一仟克的水，溫度昇高1°*C*所需的熱量。又名仟卡（*kilocalorie*）。

【大地水準面】（Geoid）

地球形狀非幾何學形狀，故不得以數學式表示，其表面起伏不一，地表四分之三爲海面，海面平坦，形狀單純。如以海面及其延長面爲地球形狀則最近似於實際地球，這叫做大地水準面。惟因地球各部質量分佈不一，重力有異常，此大地水準面亦非幾何學形狀。故在測地時爲計算之方便，假設一個廻轉橢圓體代替大地水準，叫做參考橢圓體（*reference-ellipsoid*）。

今日水準點測量尚未普遍，未能決定正確的大地水準面，亦無一定的標準橢圓體，因而有關地球形狀之計算數字不一。目前公認的數字如下表所示：

地球形狀有關數值

項　　目	數　　量
赤道半徑 R_{eq}	6,378.099 *km*
兩極半徑 R_p	6,356.631 *km*
扁平度 $\frac{R_{eq}-R_p}{R_{eq}}$	1/297
子午線周	40,009.153 *km*

赤道周	40,076.594 km
表面積	$5.10\times10^{8}\ km^{2}$
體積	$1.083\times10^{12}\ km^{3}$

【大地吸收】(Ground absorption)

指無線電波沿著地面進行時，地面對電波有吸收作用，所以地表附近無線電波無法傳得很遠。

【大地耗阻】(Earth resistance)

指地球受乾燥土壤或砂石影響，而不利於導電。

【大地電位】(Earth potential ; Ground potential)

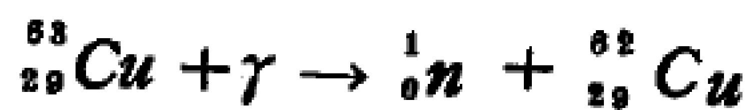
即零電位，代表不帶電的電位。

【大宇宙】(Large cosmos)

包含無數個島宇宙，概括一切的空間，叫做大宇宙。據推測，它現在仍以很快的速度，繼續膨脹。因此，屬於銀河系的我們看來，島宇宙間漸漸遠離而去。

【大共振】(Giant resonance)

在光致蛻變(*photodisintegration*)的過程中，基態的原子核吸收光子而受激發。若光子能量高於核中質子、中子或其他粒子的分解能時，就產生此種過程，其截面也顯示共振現象。例如下式之反應



$${}^{63}_{29}Cu+\gamma\rightarrow{}^{1}_{0}n+{}^{62}_{29}Cu$$

測量此反應的截面，可得圖3—53 所示的結果。圖示寬峯的中心在光子能量爲16 *MeV* 處，這就是大共振，在重核中能階密度

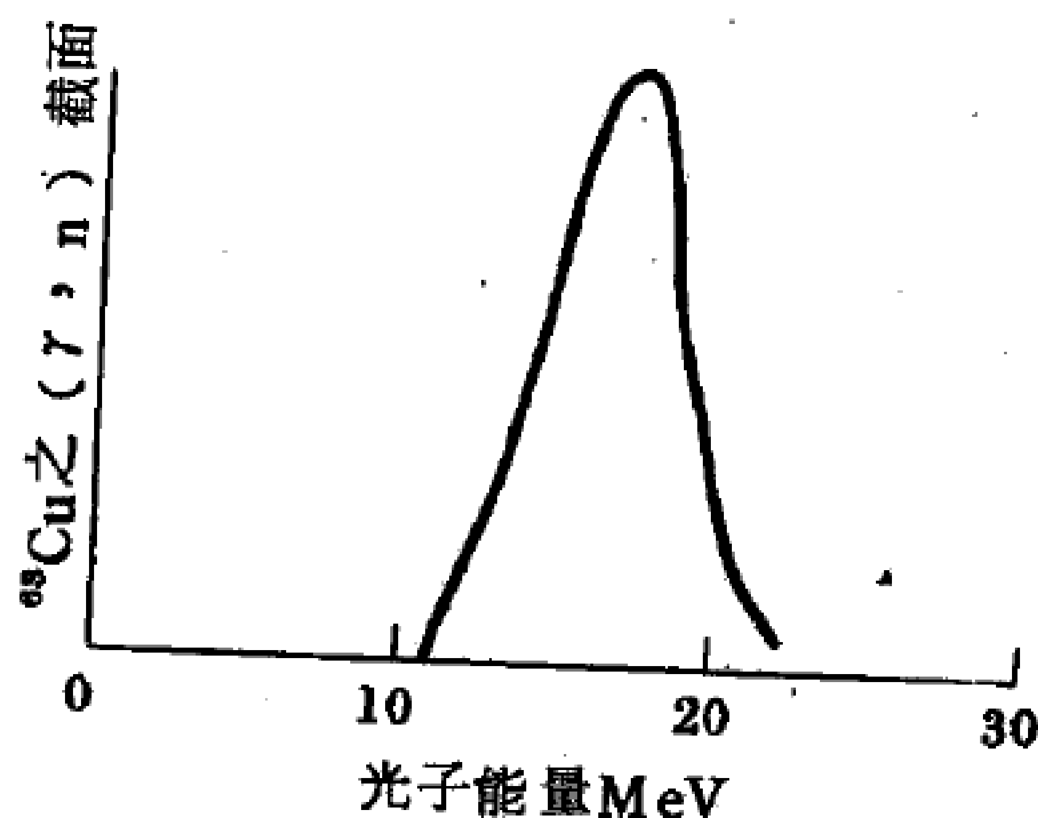


圖 3 — 53
^{63}Cu (γ, n) ^{62}Cu反應的截面對光子能量圖形

極大，能階綿延相接，以致各個的共振峯不能被辨識。這是由於入射光子與原子核之間的電雙極交互作用所致。

【大音階】(Major scale)

詳閱“大三和音 (*Major chord*)”條。

【大氣】(Atmosphere)

圍繞任何行星或其他天體的氣體，包括圍繞地球的空氣。

地球的大氣由地面向上擴展至無限高空。地球表面上大氣每平方厘米的氣壓約 10^6 達因，則地球表面上每平方厘米上的大氣質量爲 $10^6 \times 10^{-3} = 10^3$ 克。地球的表面積爲 $4\pi R^2$，即 $4\pi \times (6.4 \times 10^8)^2$ 厘米^2 $= 5 \times 10^{18}$ 厘米^2。於是地球表面大氣的總質量爲 $5 \times 10^{18} \times 10^3 = 5 \times 10^{21}$ 克 (約爲地球質量的百萬分之一)。

【 I 】大氣的組成

在 120 公里以下的高空中，大氣的主要組成爲 78.00 % 氮分子 (N_2) 和 20.95 %氧分子 (O_2) 的均勻混合體。其次爲 0.93 %氬 (Ar) 與 0.03 %的二氧化碳 (CO_2)。再其次的組成元素 (依含量的遞減而排列) 爲氖、氦、氪、氙、氫、沼氣、氧化亞氮、臭氧、二氧化硫、二氧化氮、氨、一氧化碳及碘。二氧化碳和臭氧，在大氣中的含量雖然很少；但它們確是大氣中之重要分子，因爲二氧化碳可保持環境溫暖，臭氧則可防禦太陽某種有害人類之短波輻射至地面。大氣中水氣及微塵之含量，則是隨高度之增加而降低；對於大氣之變化，都有重要的作用。它們可使天氣有雨、雲、霧等之變化。

大氣組成元素的分佈，在 120公里以上的高空中，是隨原子量的不同而異。如圖3 — 54中，在120 公里以下的高空，大氣組成爲氮分子及氧分子之混合氣體；由 120 公里至 1,000 公里，氧原子佔主要位置；1,000 至 2,500 公里爲氦層，2,500 公里以上的太空中爲氫氣，且氫氣由此一直延伸至星際太空中。

在高度距地面約 120公里以下的高空中，大氣是一個穩定且均勻的混合氣體層，其中氮分子與氧分子爲四與一之比。在120公里以上，擴散作用的因素勝過混合作用，所以大氣組成中的不同元素，則以原子型式分別集中在不同的高度層上。原子量最重的氧，位於較低的高度，原子量較氧稍輕的原子，位於氧之上，如此類推，最輕的氫氣位於最上層，如圖 3—54。且在 120 公里以上的大氣，其組成由於太陽的輻射所引起的分解和電離作用，更增加複雜性。

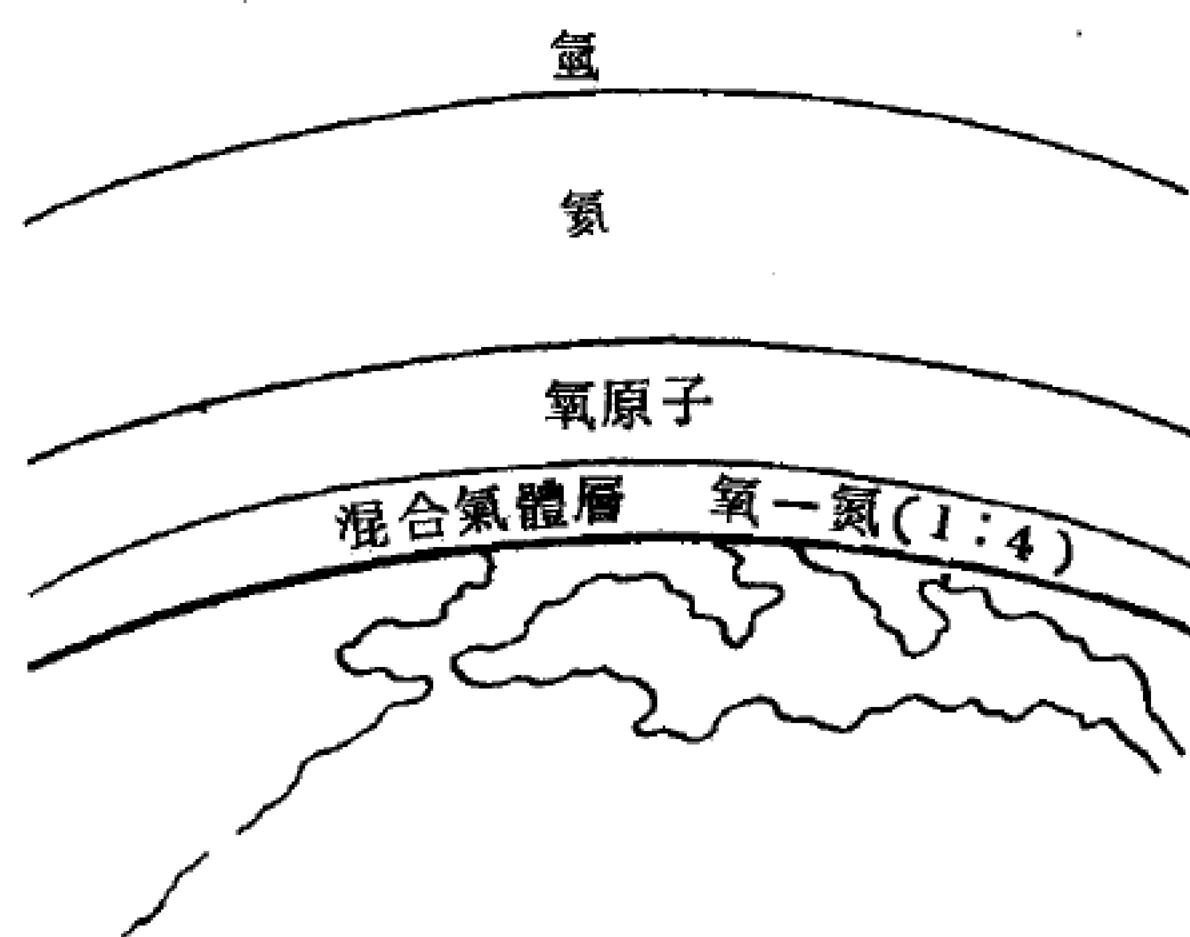


圖 3 — 54　大氣組成之範圍

大氣主要有趣的參變數是氣壓、氣溫、密度及組成，都爲高度的函數。

【 II 】大氣的密度

大氣密度之探討，如依照其發光強度，電離層之反射能力，及作用於人造衛星上之大氣阻力等各項事實，可證實大氣密度自 100公里以上之降低速度，遠較 100 公里以下時爲緩慢（如圖 3—55）。大氣密度在較高空所以緩慢下降之理由，可分兩點來說明：其一是由於大氣溫度隨大氣層厚度之增加而增加即包圍地球之大氣層的溫度愈高，則該大氣層愈膨脹，其壓力隨厚度之

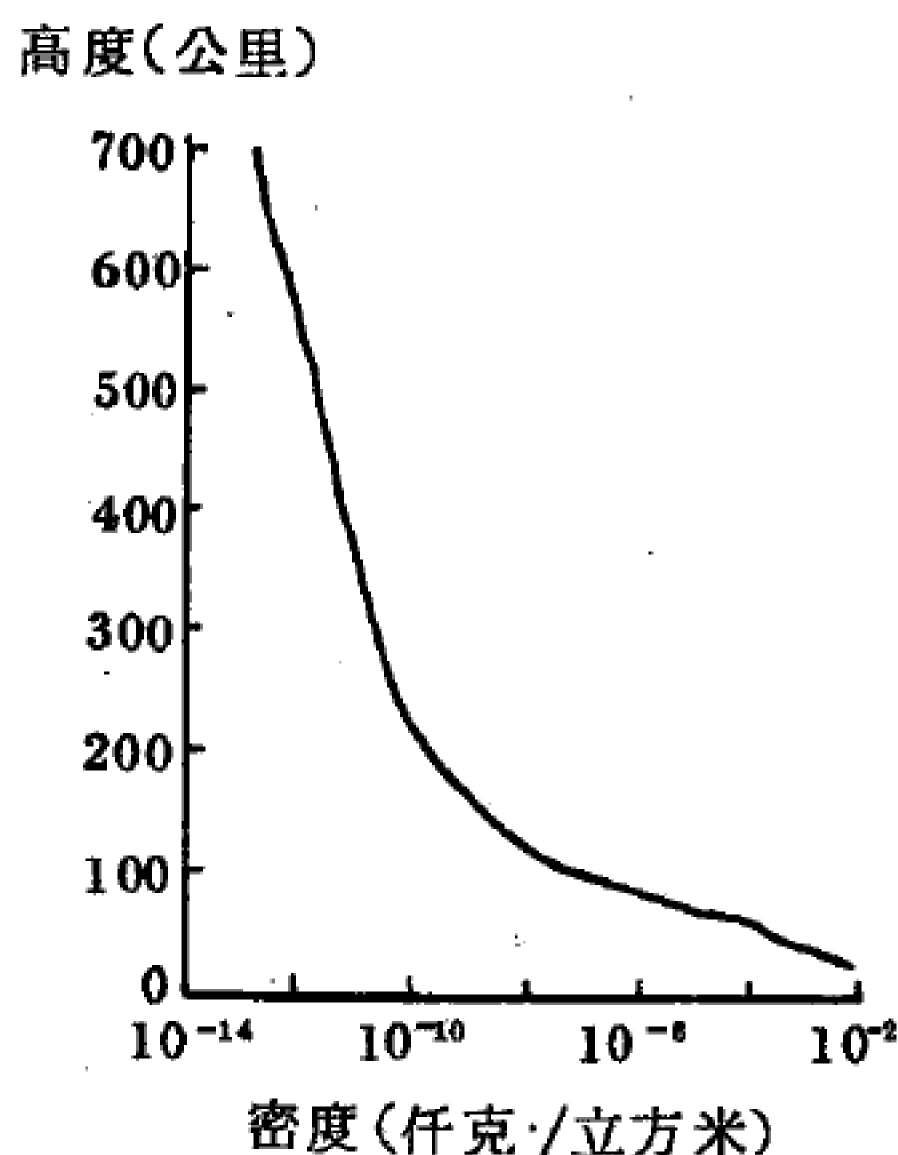


圖 3 — 55
大氣之密度隨高度之變化

降低亦愈加緩慢；其二爲當高度至100公里以上時，大氣之組成改變，即是說愈向高空，其組成元素之重量愈輕，亦是大氣的比重平均值亦因之降低。氣體比重愈小，則其密度與壓力依高度之下降，亦愈加緩慢。在 200公里以下的高空，對於密度的測量，我們可以用火箭升高直接去測量，但超過此高度後，直接測量就很困難了。不過，由作用在人造衞星上的大氣阻力之分析，可間接的推算出密度來。人造衞星運轉週期的減小率，是與大氣所產生的阻力成比例的；因之，由此得到的週期變化率之係數，可獲得衞星運行軌道上的大氣密度數值。

在高空中要作溫度的直接觀測，也是一件非常困難的事。如果大氣在靜力平衡的情況下，我們可找出 溫度與高度及密度有關的公式爲：

$$d = d_0 e^{-mg(h-h_0)/kT}$$

式中d_0與d依次爲高度h_0及h處之大氣密度，m是大氣中每單位原子或分子內的平均分子量，T爲溫度，g爲重力加速度，k是波茲曼常數。假如在不同高度下之密度可由人造衞星所得的大氣阻力求得，再由大氣的組成決定m後，即可求出T之值。此法在 1,000 公里以上的高度時，其準確性僅有百分之十五，但在1,000公里以下時，由上式所推算出之溫度，其誤差可在百分之十五內。

每一個太空艙經過大氣層時，都受到大氣阻力的影響，此力直接與大氣密度及太空艙速度的平方成比例。在高空以及星際太空氣壓低的情況下，太空艙的設計，必須考慮到金屬材料和滑潤劑的汽化。而太陽紫外線的輻射及帶能量宇宙塵的輻射，可使金屬儀器表面產生物理－化學的反應，故亦需考慮。在低空處，大氣作用於太空艙的效應，是因摩擦所生之熱和壓力。此外在無線電波追蹤太空艙時，游離效應亦必須克服。

【Ⅲ】大氣的循環

也叫大氣的環流。環繞地球大氣的流動，大體上跟赤道形成平行的帶狀。北半球從赤道起到北緯 30°左右，吹著東北風，在極帶附近卽吹著東風。前者叫做貿易風，後者叫周極風。它的中間吹著西向的風，叫做偏西風。南半球是貿易風、周極風及東南風（見圖 3－56）。

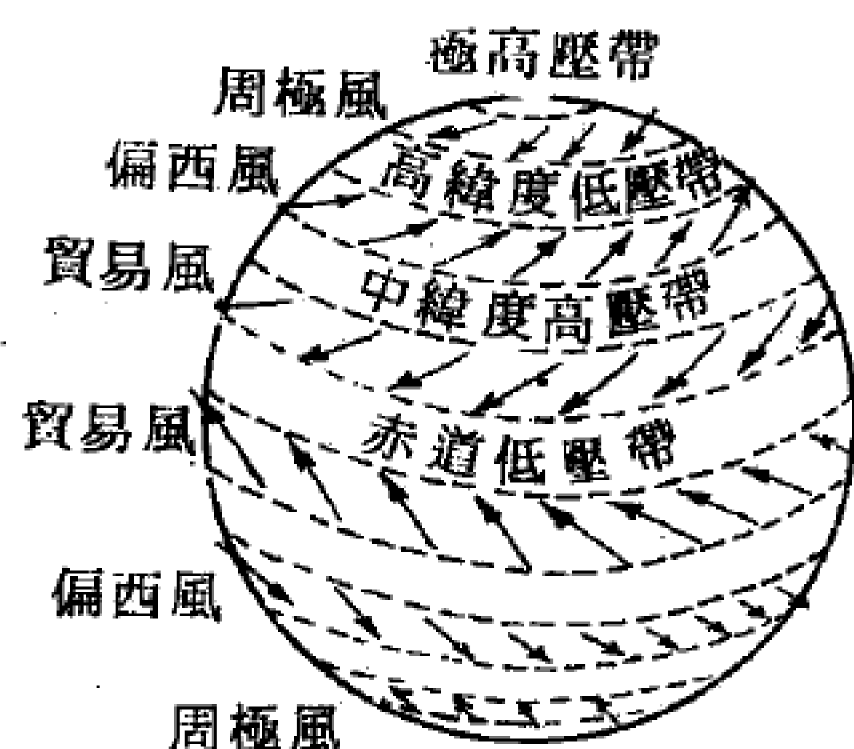


圖 3 － 56　大氣的循環

【偏西風】約在南北緯 30°～ 60°之間，主要是西向的風，特別是對流圈的上層，吹著強烈的西風，這叫做偏西風。向東飛行的飛機，如利用偏西風，可以較快的飛到目的地。在偏西風帶中，高氣壓或低氣壓，接二連三的發生，並由西流向東方，天氣也是由西向東的變化下去。

【貿易風】由南北緯 30°附近的中緯度高壓帶，向赤道吹去的東北風，叫做貿易風。地表起 10 公里上下，全吹著東北風，並且幾乎整年都沒變化。這附近所形成的熱帶低氣壓，是由東向西進的。

【大氣定律】（ Law of atmosphere ）

當在高度爲 z 時的大氣壓 $P = P_0 e^{-mgz/kT}$，其中 P_0 爲在地面上的大氣壓，m 爲氣體分子平均質量，k 是波玆曼常數，T 是絕對溫度，g 是重力加速度。

【大氣頂層】（ Aeropause ）

又稱爲變溫層。氣層之上部區域，在此區域內之大氣動力已不足支持飛行之需要。亦卽航空上實用限制之高度。在噴射飛行時之大氣頂層爲 20 哩高（近似值），人造衞星由於阻力之軌道衰變，高度則爲250～300 哩。

【大氣無線電波】（ Atmospheric radio wave ）

在空氣中傳播的無線電波。

【大氣電】(Atmospheric electricity)

空氣無論陰晴，其內常帶電。晴天常帶陽電，陰天或雨天所帶電陰陽恆不一定。又距地球表面愈遠，空氣中所帶之電量愈多。空氣中所以帶電之原因，學說不一。其主要原因，乃因水蒸氣從水之表面蒸發而上騰，與空際之塵埃等相摩擦而產生。

【大氣溫度】(Atmospheric temperature)

大氣溫度自海平面起，在正常情況中，每上升1,009 呎平均減低 3°*F* (亦即每升高 100 公尺，約降低 0.5°*C*)，以至同溫層 (大約 36,000 呎)，再由此點起，因逆增情況，上升的溫度保持一定，或略有增加。

大氣溫度隨高度之變化，頗爲複雜，如圖 3 — 57 。圖中示大氣溫度先依直線下降，至高度約 10 公里之上空時，乃轉趨上升，迄高度約 40 至 50公里時達於最高值，之後又轉趨下降，至高度約 80 公里處，又有一最低值，過此最低值後，復轉而上升至高度爲 300 公里以上時，氣溫可達於攝氏 1,000 至 2,000 度以上。

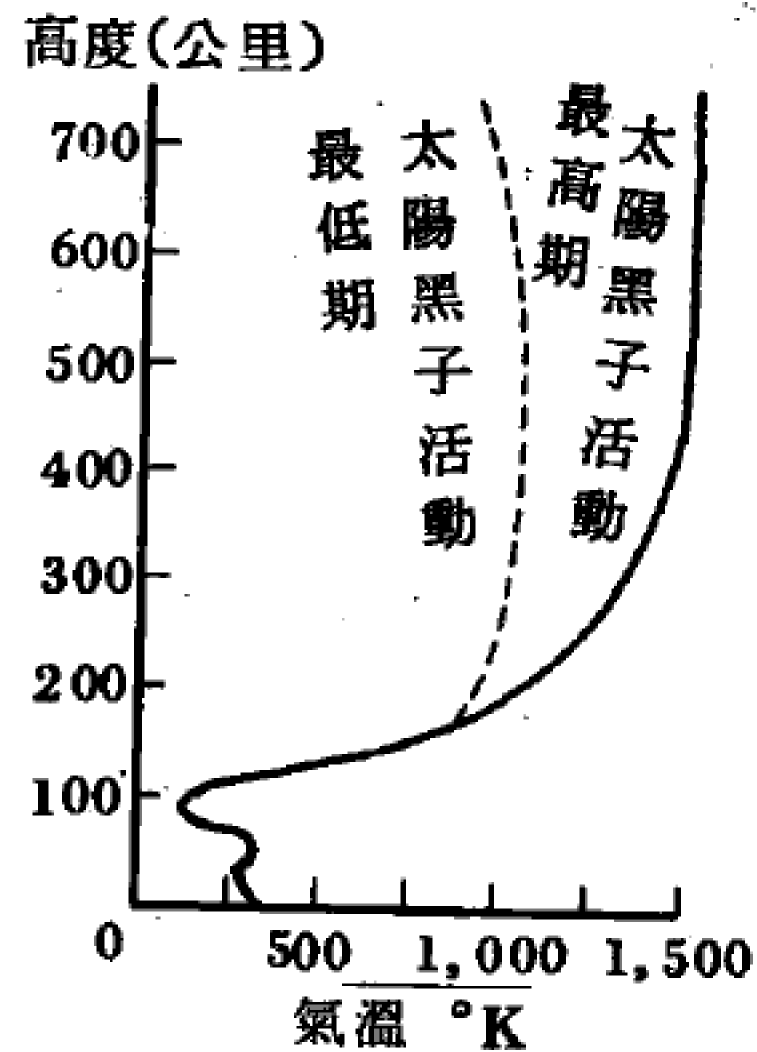


圖 3 — 57
氣溫隨高度之變化

此一顯著之溫度變化，其原因究竟爲何？蓋因對流層 (註：有關大氣之分層，請參閱" 大氣層 "條。) 溫度隨高度之下降現象，是由於太陽加熱地球，再經地球反射間接加熱所致，故離地面愈遠，其溫度愈低。至於大氣溫度在 50 公里附近上升至最高點之原因，則由於來自太陽之紫外線，其波長範圍爲2,000至3,000Å(可見光之範圍爲3,000至6,000Å)，在該處爲大氣吸收所致。因之，在該處不斷地生成臭氧。同時，又不斷地遭受破壞，當臭氧被破壞時，乃產生熱能。 100公里以上大氣溫度之急

劇上升，則由於該處大氣大量吸收紫外線與波長短於 180 Å之 X 光之故。又因大氣在此一高度極爲稀薄，故所需能量亦甚小。且由於該處空氣稀薄，其溫度雖高，但仍不致危及太空中之航行。因單個質點所含之能量雖高，但其數量甚微，即轉嫁於某一物體（或人體）之總能量極小。因之，人體所能感觸之熱能亦頗微。

在圖 3 — 57 中，約略自大於 100 公里之高度開始，溫度曲線變化視太陽黑子活動之情況，而有極顯著之區別。太陽黑子活動最高期間之溫度（實線）較最低期間之溫度（虛線）爲高。

【大氣層】（Atmosphere）

地球空氣圈所延伸出去之準確的廣袤程度，一般估計，大約高於 500公里。此項估計是根據人們可以開始看到隕石的高度而得來的。地球空氣層的範圍，又可以依照極光出現的高度範圍來估計，或者當月蝕時月球正進入地球陰影以前，根據月球表面的變爲朦朧不明而加以判斷。

這空氣圈被稱爲大氣層〔大氣層一詞源出於希臘文，由霾（*atmo*）與球（*sphere*）兩詞組成〕。在大氣層中升得愈高，則加在物體上的空氣壓力愈低，空氣的密度愈小，而其溫度也降下愈多。此外，空氣中的氧氣亦會漸漸缺少，而氮氣則漸漸增加。

如圖 3 — 58、圖 3 — 59，可使我們對大氣層的構造得到一簡單的概念，大氣層中的一部分，亦即氣象萬變，雲層叢生，空氣隨著上下氣流和水平風向移動的那一部分，其疆界相當深下，與大氣層中上面的一部分之間，係由一相當明顯而環繞著地球四周的界層隔開。大氣層中位於此界層下面的部分稱爲對流層，其幅度係由我們的地平面起，升達 10 至 12公里的高度。在對流層範圍以內，溫度隨高度而作相當有規則的遞減。界層上面的是同溫層，裏面的溫度，可保持不變。關於同溫層裏的物理性能及化學成分，我們現在知道的尚少。極光能照升到同溫層

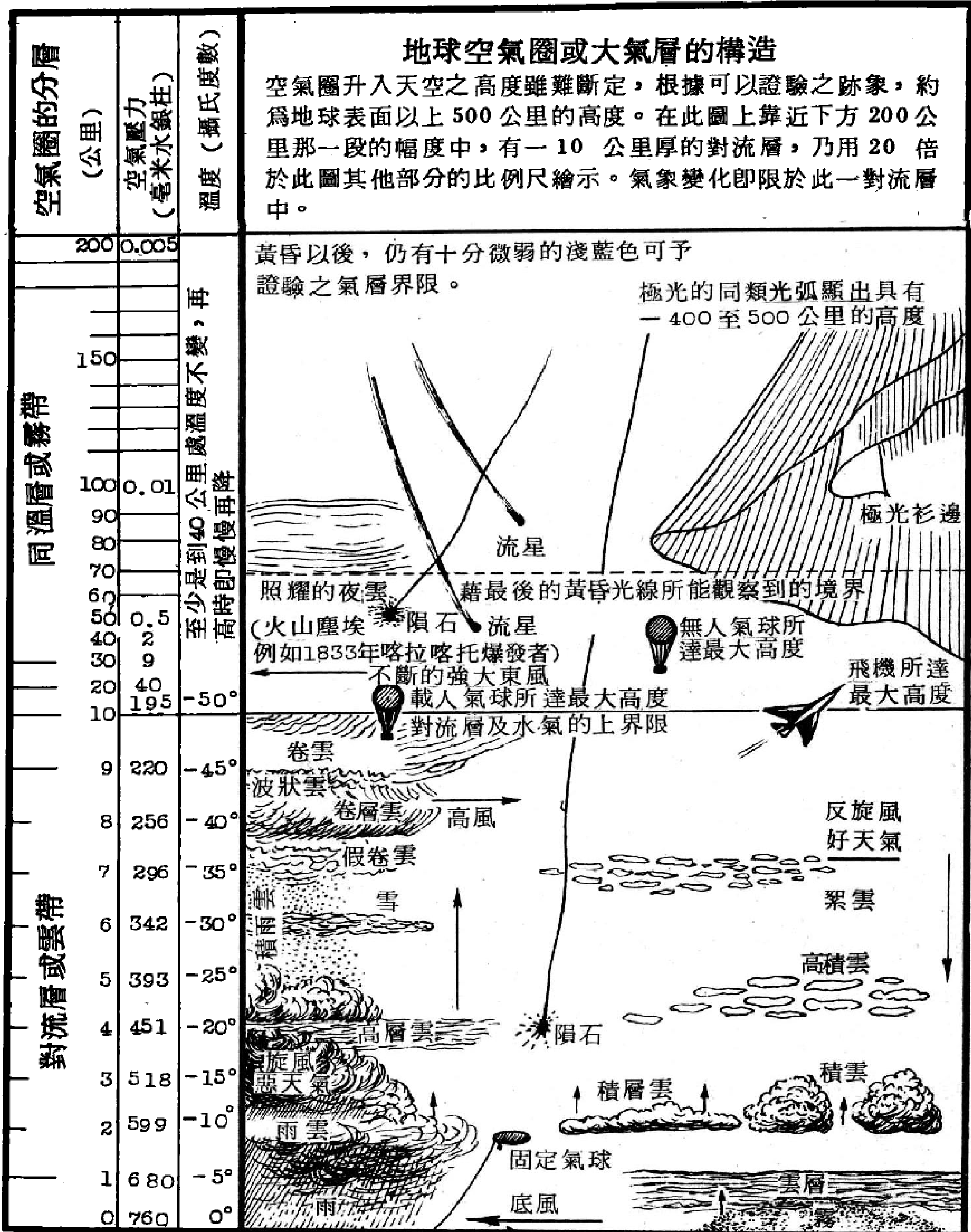

地球空氣圈或大氣層的構造
空氣圈升入天空之高度雖難斷定，根據可以證驗之跡象，約爲地球表面以上500公里的高度。在此圖上靠近下方200公里那一段的幅度中，有一10 公里厚的對流層，乃用20 倍於此圖其他部分的比例尺繪示。氣象變化卽限於此一對流層中。
空氣圈的分層（公里）
空氣壓力（毫米水銀柱）
溫度（攝氏度數）
同溫層或霧帶
對流層或雲帶
至少是到40公里處溫度不變，再高時卽慢慢再降
黃昏以後，仍有十分微弱的淺藍色可予證驗之氣層界限。
極光的同類光弧顯出具有一400至500公里的高度
流星
極光衫邊
照耀的夜雲
藉最後的黃昏光線所能觀察到的境界
（火山塵埃 例如1833年喀拉喀托爆發者）
隕石
流星
無人氣球所達最大高度
不斷的強大東風
載人氣球所達最大高度
對流層及水氣的上界限
飛機所達最大高度
卷雲
波狀雲
卷層雲
高風
假卷雲
反旋風
好天氣
積雨雲
雪
絮雲
高積雲
高層雲
隕石
旋風
惡天氣
積層雲
積雲
雨雲
固定氣球
雲層
雨
底風
霧

圖 3 — 58

的最外層。

空氣海洋內高空階層的研究，已因現代無線電的發明與航空方面之進展，成爲人類興趣的焦點。例如，電波在太空中並不能直線而上地傳播出去，而會於80到100 公里之高度，由於受到較高空氣層的阻礙，被滯留於地球表面之附近。這個極其稀薄的更高空氣層，由於發現電波受其影響者的名字而被命名爲赫維賽德層。人類之升入高空層，是有一限度的，因爲此處的空氣壓力和空氣密度非人類的器官所能適應。 1953 年德奧合組之南伽一帕爾巴特探險隊已經指出，在高於7,000 公尺之高空中，已無人能安全地稍事逗留。此處，空氣裏的含氧量只有9.5%，而在正常之含氧量應爲20％ 。更高的地方就必需應用氧氣設備來呼吸。 1932 年僻卡德就是這樣，使他的自由汽球飛行升到 17 公里的高度的。螺旋槳飛機還可在更高的空中飛行，無人的測候氣球則很少能達到 30公里的高度。

人類如想進入更高的大氣層，必須應用別種方法。目前已經發現高空的稀薄空氣層在某種方式上，可能貢獻很大的利益。它對飛行其間的物體，比起接

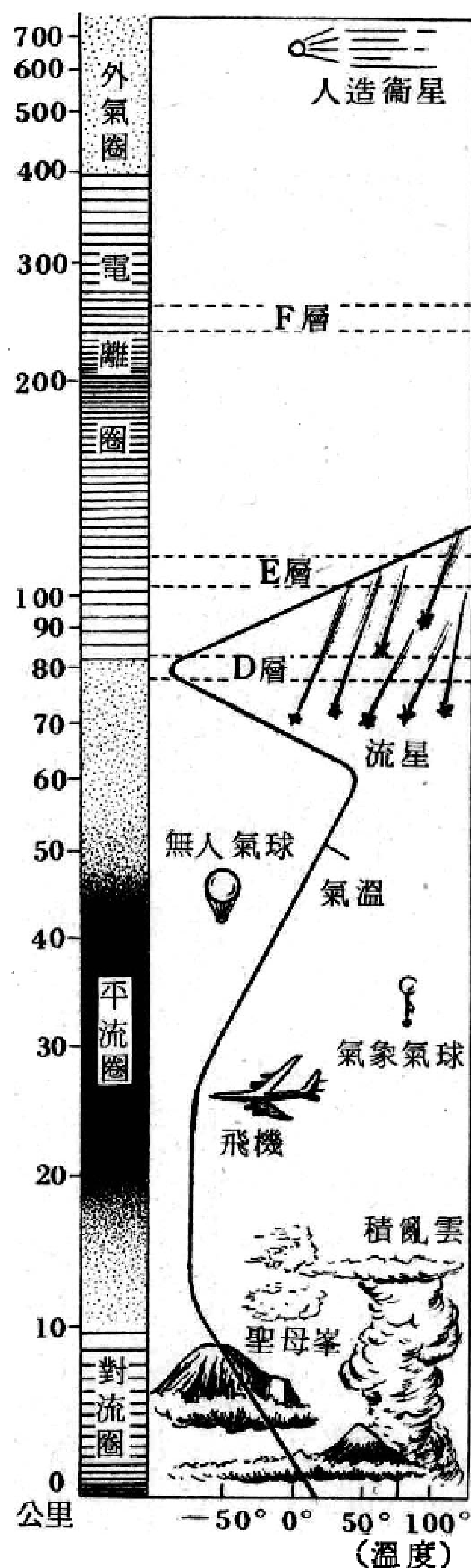


圖 3 — 59
大氣的構造

近地面的濃厚空氣層，只會產生遠爲微小的阻力，因而使得由反作用推進的噴氣機及火箭能達到非凡的航程。飛機的飛高紀錄爲 27 公里，未載人的飛機能達到 50 公里的高度，裝配了紀錄儀器的無人火箭已能升高到 200 至 400 公里，而地球上最高的聖母峯也只有8,882公尺高。

在大氣層中，最內層的大氣障礙，對於電磁和微粒輻射是一種最有效的屏蔽。就重量來說，在我們頭頂上的大氣層大約和一層 34 呎深的水一樣重。大部分的大氣緊靠在地球表面。根據一項簡單的經驗，每升高 10 哩，空氣密度減少十分之一；到了 60哩時，空氣密度僅爲海平面時之百萬分之一。大氣的最底層成了一層最好的屏蔽，因爲光子和帶電粒子跟空氣中的氧或氮分子碰撞時，便無法到達地球表面。這一事實已經由在九仟呎高的約塞麥特國家公園（*Yosemite National Park*）山村所做的實驗得到證明。從儀器上顯示出在這山頂上，宇宙線的穿透力較海平面高出三倍。

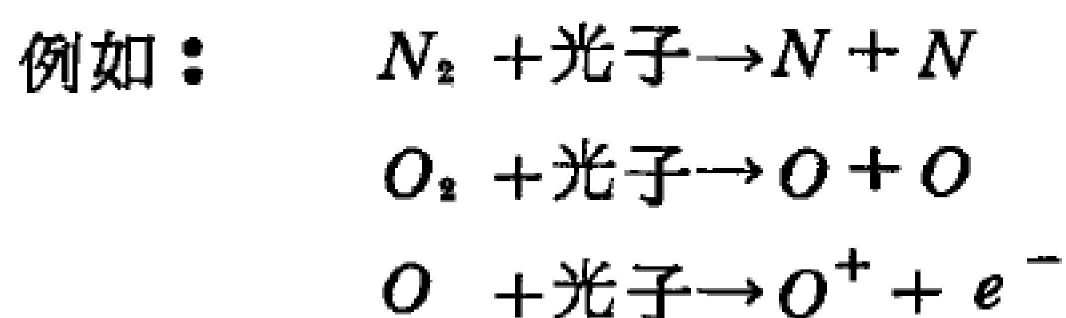
當一帶電粒子或帶能量的光子進入大氣上層時，有三種情形可能發生；跟空氣分子的碰撞可能把入射的彈丸移開，空氣分子在這過程中會吸收一部分能量，這種過程稱爲散射。當散射發生足夠多次時，外太空來的帶電粒子會完全消失能量而永久停留在大氣裏，多數低能量的帶電粒子，當它們撞擊大氣時都會遭受相同的命運。碰撞中消失的動能，常在大氣中，成爲可見光現出。例如閃亮如金又很難看見的空氣餘便是由於地球外輻射引起空氣分子或原子的激發所導致的。

較高能量的粒子較易爲大氣原子核吸收而不散射。有些宇宙線粒子，因爲帶有極高的能量，把氮或氧原子搗成次原子碎片；這些碎片再繼續它們的搗碎工作。因此使得一帶高能量的原始宇宙線變成一大堆崩裂的次宇宙線。

從太陽和星球來的光子也一樣的會被大氣中的分子吸收或散射。藍色的天空是我們很熟悉的例子，它是由於大氣上層的原子散射太陽的藍

光。當大部分的太陽光子以可見光到達地球表面時，許多短波長或長波長的光子並無法形成可見光。紅外線光子（比可見光更長的波長）在很高的大氣層時便被分子，尤其是水氣，吸收掉。一些短波長的紫外線光子被氧和氮分子碰撞後被吸收。光子的能量可以使得雙原子的分子分解或分裂，也可以使單原子游離。

例如：



N_2 +光子→$N+N$

O_2 +光子→$O+O$

O +光子→$O^+ + e^-$

大氣的一切效果存在都爲了絕緣太空來的電磁輻射，不使達到地球表面，很幸運的，從太陽來的紫外線光子不能夠達到地球表面；這些沒有過濾過的太陽紫外光，足以致地球上的大部分生物於死地。太空人對於紫外光的保護要和外太空中高度眞空的屏蔽一樣小心。

【地球上的大氣層在三方面阻礙天文現象】

第一，大多數的電磁輻射線是不能通過大氣的。僅在可見的波長 3,000～10,000 Å段有一個“窗”及在波長 3 厘米至 15 米之間（20 兆赫）的“無線電窗”方能通過。可見的窗在較 3,000 Å 爲短的波，因受臭氧的吸收紫外線影響而切斷，在這兩窗中間是光譜中紅外線的部分。大氣中水份、二氧化碳及氧吸收紅外線。大氣對 $10^4 \sim 24 \times 10^4$ Å 波段是半透明的，不過在 24×10^4 Å 到厘米波段已是差不多不透明。無線電窗也在這裏開始。它又受游離層電子密度影響限制在 15 米或 20 兆赫的長波。所以在天文學上，電磁輻射波在光譜兩端擋住。對天文物理研究這兩區都很重要。中間空隙（紅外線超短波區）並不嚴重，我們可用得自兩個窗的資料來估計這區的強度。此外這種輻射線主要是由大氣下層所吸收，我們可利用氣球帶望遠鏡升達相當高度來觀測紅外線區。所以太空天文學家專心從事利用低於 3,000 Å的短波及 15 米以外的長波來進行研究。

第二，來自大氣上層的光及大氣下層的陽光及星光擴散阻止對弱光體的觀測。任何光體以天空爲背景的觀測受天光的限制。用氣球帶望遠鏡，我們無法消除光擴散的因素，但用火箭及人造衞星則可避免它的影響。

第三，大氣下層中小的不均勻體（ *inhomogeneities* ）對光的折射與分散，破壞了光學影像的定義。這種燦光及壞視力阻止了對各項詳細目標的觀察力。諸如太陽斑點、行星表面特徵以及銀河星雲等。

壞的視力是由五萬呎下的大氣層的影響，可用氣球携帶望遠鏡來克服困難。甚至在高山頂上也會大有改進。其他障礙，諸如空氣反光、分子及離子吸收等，皆非氣球所能達到的高度所能解決的。火箭可用來携帶儀器高出大氣層或甚至高出游離層，但在搜集資料需時在幾分鐘以上時，則只有使用人造衞星。

光是直線進行的，我們遮住燈光，馬上就黑暗了，可是，太陽下山了，怎麼天空還很亮？爲什麼雨天看不到太陽時，白天也不會像夜裏那麼黑暗呢？這完全是大氣層的功勞，空氣裏面有許多大小不同的氣體分子，浮游的灰塵、雜質等，太陽光雖然不能直接照射大地，可是它卻照射了空氣，這時候陽光就被空氣中的雜質散射開來，因此天空仍然很亮。

還有天空爲什麼看起來是藍色呢？這也是大氣層的作用。我們知道，日光是幾種光線的混合，空中的水珠和灰塵顆粒將藍色光散射得最厲害，而其他的光大部分都毫無阻力地通過了。例如，黃光和橙光很容易從灰塵顆粒間穿過。這就是爲什麼在有霧的天氣，汽車車燈黃橙色的燈光比白光容易照亮車前的東西。

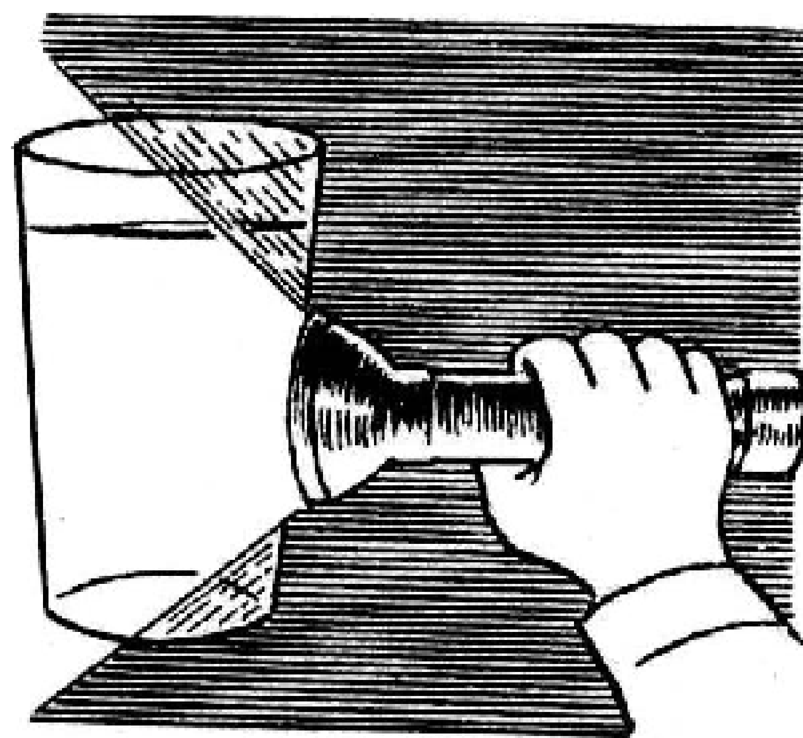


圖 3—60

利用下面的方法，你可以證明藍光比其他光線容易被散射。在一杯水被攪進幾滴牛乳。牛乳的顆粒就代替了大氣裏的灰塵粒。在黑暗的房裏點起一支手電筒，讓光線垂直杯身照過去。這極稀的牛乳並不是白色，而是呈藍色，因為牛乳顆粒散射的藍光比其他光多。(見圖3—60)

如果我們有機會離開地面，上升到地球上空100公里的高空，那麼，那時候看到的天空，就不是蔚藍色，而成了一片紫色。

因為紫色光最弱，它大部分首先被外層大氣擋住、吸收和散射了，所以把那層大氣染成了紫色。

要是再升高到離開地球幾百公里高處去觀察，那時候你看到的將是一片純黑，太陽、月球和星星就彷彿像嵌在黑絨上似的。原來任何光線不經過反射或散射，是一點也看不出來的。

【大氣層的功用】(Effect of the atmosphere)

地球的表面，密密的籠罩著一層大氣，不論高山深谷、熱帶寒帶，都同樣的被包圍在內；近地面部分密度較濃，愈向四外延伸則愈稀薄，其精確範圍，難於測量，據科學家估計，可能擴展到距地球六萬哩以外；此即吾人所謂之大氣層。人類能夠平靜的生活於地球表面，大氣是必備的條件，除供給身體內部之需用外，還為人類擔任了衞戍的職務，消滅來自太空有形及無形的敵人。

【I】焚燬流星隕石

關於有形的敵人，即為隕石(*meteorite*)；其大小形狀並不一致，在太空中以高速飛行，每小時約三萬至十六萬哩，當進入大氣層時，由於速度過高，與空氣分子相互摩擦而生高熱，最後終被焚毀，發出一條肉眼能見的光亮，即是我們所稱的流星。也有極少數會經過大氣層後，落於地面，即為隕石。據估計，每日二十四小時之內，進入大氣層的流星約有一萬萬個以上，其總重超過兩仟噸。如無大氣之防護，人類隨時有

被襲擊的危險。

【Ⅱ】濾除宇宙射線

無形的敵人則爲輻射線；來自太陽方面的，除各種光線外，還有 X 射線、γ 射線等，經過大氣層之吸收作用，僅將殘存的部分可見光線送達地面，其他有害人體的射線及強光，全被摒除。另有部分來自銀河間的宇宙線，是一種能量極高的原子核，含有極強烈的輻射能；大概分下列幾種成分：氫原子核質子約百分之八十，氦原子核的 α 質點約百分之十八，另有百分之二較大原子核。這些激烈的射線，在地表面十五至二十五哩高空，與大氣中原子相互撞擊而粉碎，變成更小之質點，受南北極地磁之吸引而消失於地球兩端。

【Ⅲ】保持適宜溫度

另外，大氣層更有隔絕極冷與極熱的特性，如無大氣的保護，地球可能和月球情況相似，面對太陽部分，溫度將升至數百度之高，背向太陽的一面，則會接近絕對零度，相當華氏零下四百五十度。類此情況，人類又怎能生存呢！

由以上所述，可知大氣層對人類的功能，實難以形容；防護人類的安全，並維持適於人類生存的氣溫。

【大氣熱平衡】(Heat balance in the atmosphere)

接收來自太陽之熱爲地球能源之主要來源；此外，地球內部具有輻射性能力之岩石亦供應能之一部分，但在量上比較，後者極微。

接收來自太陽之總熱量，在正對太陽之地球大氣外邊緣上每一平方厘米每分鐘接受 1.94 克卡（ *gram-calories* ）。正對太陽部分所接受之熱量較大，並隨距離依次遞減；熱帶地區所以炎熱，兩極寒冷，其故在此。

地球表面並不接受太陽之全部輻射。空中之雲雪反射落在其上之太陽輻射達百分之七十五，陸地表面平均反射百分之十至三十。水之反射

量差別很大；當太陽在距地平五度時，水對太陽輻射之反射率爲百分之七十。當太陽距地平五十度時，僅反射太陽輻射百分之二。太陽輻射之一部分則由大氣中之氣體和空中水汽所吸收。其餘部分則因散播於大氣內而損失。

總計太陽輻射分配如下：

1. 約百分之四十二因反射而送回太空。
2. 約百分之十五由大氣和其他不純氣體及雲分子微質點吸收。
3. 約百分之四十三由地球接收並予吸收。

多雲之陰天阻擋來自太陽之輻射較晴天多。晴天所失去之輻射量約爲總量百分之十七，而陰天之損失高達百分之七十八。陰天之平均損失率爲百分之五十二。故晴天接收來自太陽之熱，其百分率較大。雪封地區對太陽熱之損失率較叢林和植物所蔽之地區爲大。水表面如地球之海洋及河流之表面，反射熱量並不大，反之吸收大量熱，但對氣溫之變化影響極微。

地球所接收之熱，其來源如次：

1. 百分之十七左右係直接來自太陽輻射。
2. 百分之十爲天空輻射（由散佈之太陽輻射而來）。
3. 百分之七十係接收由大氣中環繞著地球之長波。
4. 百分之三係與空氣氣流中之熱表面而接收者。

地球上沒有積聚熱（*accumulation of heat*），此點顯示有輻射熱平衡存在。地球對於所接受之輻射有幾種分散方法：

1. 百分之七由大氣中之透明帶散佈入空中。
2. 百分之七十八由輻射散播入大氣中，並由之吸收和再輻射。
3. 百分之十五係由蒸發而進入大氣，並儲於大氣層中。

【大氣潮汐】（**Atmospheric tide**）

大氣之擾動，起因於太陽和月球之吸力，使其產生和潮汐相似之現

象，稱爲大氣潮汐。

【大氣輻射】(Radiation in the atmosphere)

大氣對於接受來自地球或太陽之輻射，反應不同，其輻射狀況依輻射波長而定。

大氣阻止大多數波長極短之非常紫外光，它們大部分在距地球表面10～40哩高處時即爲大氣所阻。使這些對人體或生物具有殘害力之紫外光不致傷及人類。

大氣並且散射紫及藍光中之短波，此即造成天空是藍色之原因，亦阻止吾人在晝間看見星星。太陽圓面在西沒之際亦因之呈現紅色。

大氣能將黃色、橙色和紅色之長波傳達至地球表面，光之一部分被反射，另一部分則被吸收使地溫暖，然後作再輻射回空氣中。

大氣吸收較長之熱波，這些熱波係使地面溫暖並再予輻射。

由地球發出之輻射，其組織成分包括遠達最紅之光以外之波長。這些熱之一部分再返回地面，其餘則緩慢逸入太空。

大氣之效應有如溫室 (*green house*) 之玻璃屋頂，它讓陽光和熱自由進入，但卻阻止其進入者逃脫。水蒸氣是產生此種效應之主要因素。

【大氣壓】(Atmosphere)

壓力的單位。在重力加速度爲 980.665 厘米/秒^2 的地方，若使用的水銀之密度爲 13.5951 克 /厘米^3 ，則 760 毫米高的水銀柱所代表的壓力，即定爲一大氣壓。又稱爲一標準大氣壓，常以英文縮寫 *atm* 表之。這相當於每平方厘米受 1,013,250 達因的力。另一常用的壓力單位爲托 (*torr*)，乃一大氣壓的 1/ 760 。

【大氣壓力】(Atmospheric pressure)

地面上空氣的範圍極廣，常稱大氣。離地面 200公里以上，仍有空氣存在。故其密度雖小，而由如此高的大氣柱作用於地面上的壓力，當

然極大。人體在大氣內毫不感覺受氣壓的壓迫，這是因爲人體的內外部同時受到氣壓的作用，恰都相等的緣故。

由於自地球表面延伸至上空的空氣重量，地球表面附近的物體所受的力稱爲大氣壓力。大氣壓力的測量通常以水銀氣壓計的水銀柱高（*mm-Hg*）表示之。地面上標準大氣壓力爲 1.013×10^{6} 達因/厘米^{2}，絕對單位爲毫巴，一毫巴等於 10^{3} 達因/厘米^{2}。須要精密量度時應予以重力及溫度修正。

$$1\ atm = 760\ mm\text{-}Hg$$
$$= 1{,}013\text{毫巴}$$
$$= 1{,}033.6\ \text{克重/厘米}^{2}$$

大氣壓力隨高度下降之特性，在高約 100 公里以上時開始轉變，如圖 3－61。

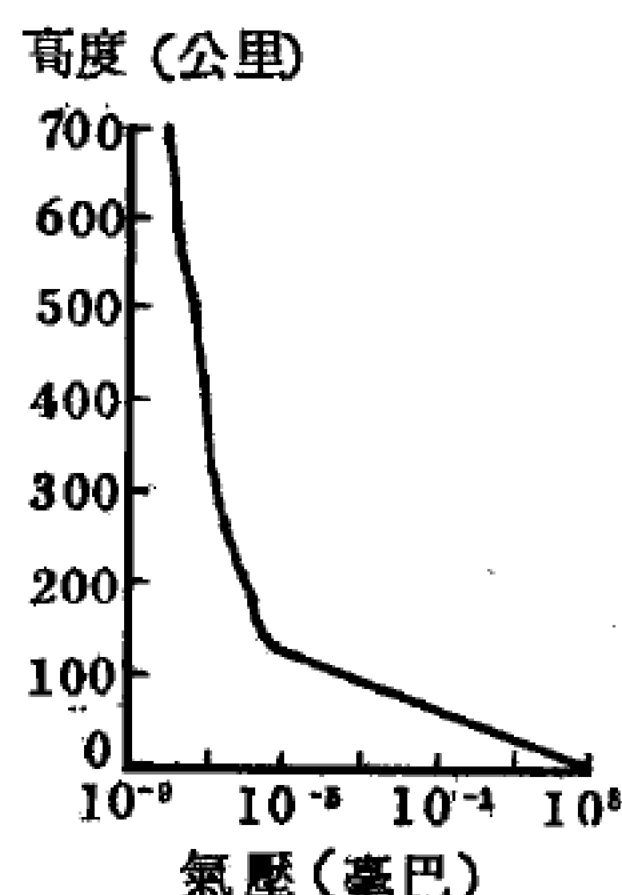


圖 3 — 61

在靜止大氣中，高度在 z 和 $z+dz$ 之間的壓力增加 dp 爲

$$dp = -g\rho dz$$

g 爲重力加速度，ρ 爲密度。假設密度 ρ 和重力 g 均一定，則大氣的高度 H（氣壓爲零的高度）和地球表面上大氣壓 p_0 之間有

$$p_0 = g\rho H$$

之關係。在此式中若 ρ、g 取地球表面上的值，則 H 即稱爲均勻大氣的高度，約等於 10 仟米。設溫度與高度無關，則靜止大氣壓隨高度以對數函數而減少。在海平面上其比數約爲 10 米減少 1.2 毫巴。

【大氣壓的利用】

利用大氣壓原理的用具有：用吸管吸墨水；用抽水機打水上來；用虹吸管吸水等。

1. 抽水機——又名抽水唧筒。利用大氣壓力吸上液體的機械。從原理上看，可分爲吸取抽水機與壓送抽水機（又名壓力唧筒）。現在工廠

裏常用的抽水機，另有幾種經過改良的新型抽水機。可是，不論任何一種抽水機，都是利用大氣壓來吸上液體，因此，能吸上的高度，如果是水時，最高約 10 米爲限。而實際上因有種種的限制，最多只能將 8 米深的水吸上。如要把水送上比 10 米或更高處，就得使用壓送抽水機。

2.吸取抽水機——如圖 3 — 62 所示，當活塞向上時，喞筒內的壓力變小，壓在水面的大氣壓就把水壓入管內並使其上升。然後使活塞向下時下方的活門即關閉，水就不能落下。利用這活塞的運動，就可以抽水。如喞筒內完全變成眞空，水就可以抽上約 10 米高處。

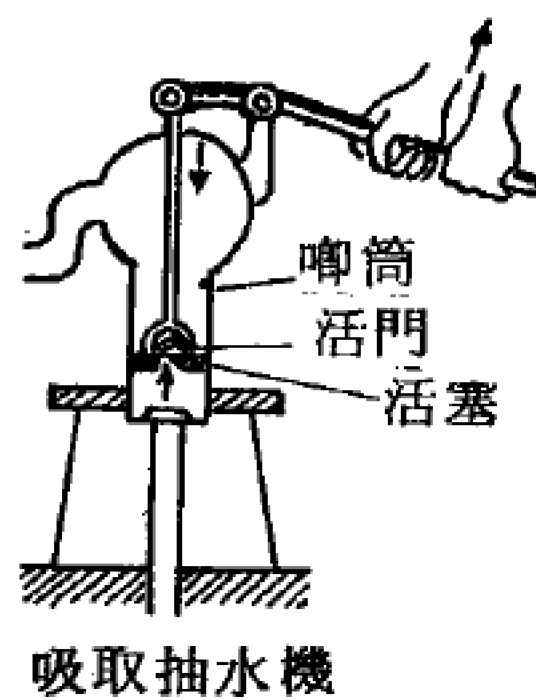


圖 3 — 62

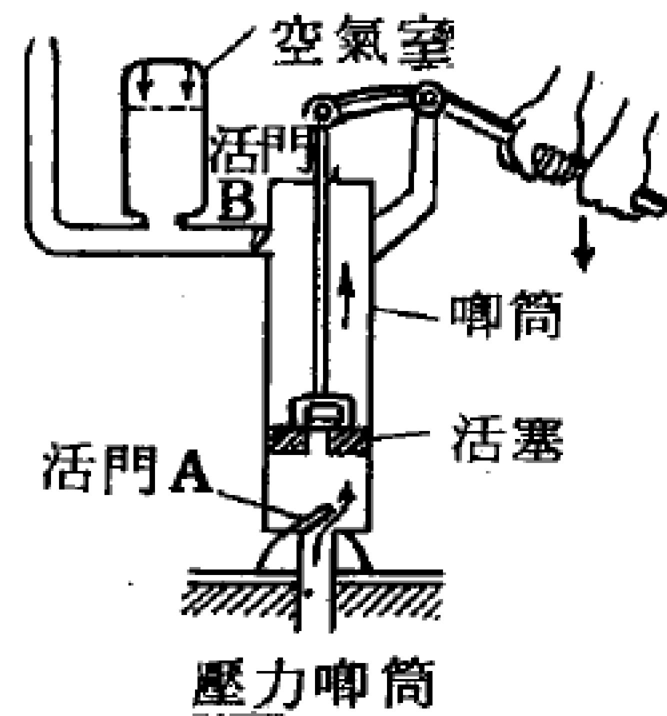


圖 3 — 63

3.壓力喞筒——將水抽進喞筒內的原理與情形，是與吸取抽水機相同，所以到這段爲止還是不能把水抽上 10 米以上高處。可是當活塞向上時，活門 *A* 與 *B* 均打開，喞筒內的水便通過活門 *B* 被壓送上去。由這壓送作用，壓送抽水機，便可以把水抽到比 10 米更高的地方去。(如圖 3 — 63)

4.虹吸管——用一橡皮管裝滿水，然後，兩端各插入兩個高度不同，盛有水的容器內，則水即由水面高的容器，經橡皮管流向水面低的容器裏。這樣的裝置叫虹吸管。利用虹吸管可以不必把容器傾斜，就能使液體移動（見圖 3 — 64

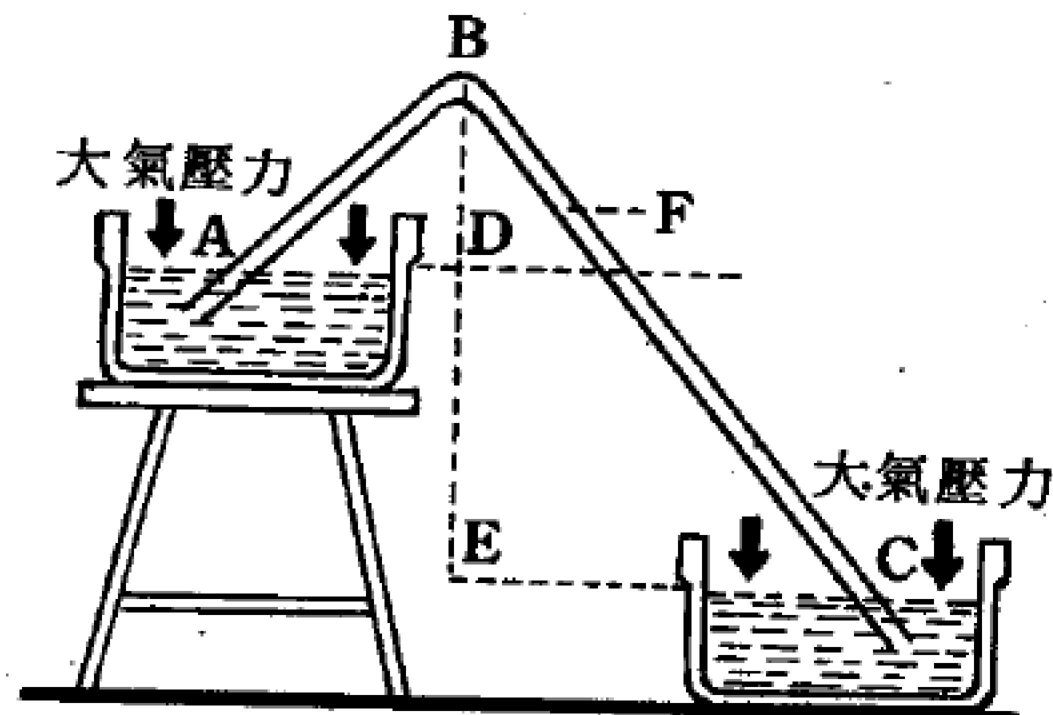


圖 3 — 64　虹吸管

）。

現在來考慮為何用虹吸管能使水流動的理由。

讓我們比較管的最高處 B 點兩側所作用的壓力。由於兩方容器的水面都有大氣壓力作用，在 B 點

左邊壓的壓力＝大氣壓－水柱 BD 的壓力

由右邊壓的壓力＝大氣壓－水柱 BE 的壓力

同時在作用。作用在兩方容器內水面的大氣壓力相等，由於水柱 BE 的水壓比水柱 BD 的水壓大，由左邊向右邊壓的壓力，就比由右邊向左邊壓的壓力大，因此水就受水柱 DE 的壓力差，由左邊流至右邊。

如 BD 的高度高於 10 米以上，則由於水無法送到 B 點，因此，水就無法流過去。又如右邊管中的水面，比 D 點的水面高時（圖 3 — 64 中 F 點），水就向反方向流動。如兩邊水面同高，則水就不流動。

【大氣聲折射】（Atmospheric sound refraction）

由於風速梯度和溫度梯度的影響，而使音波傳播方向改變的現象。

【大氣譜線】（Telluric lines）

因陽光在地球大氣中之吸收作用使太陽光譜產生譜線或譜帶，稱為大氣譜線。

部分係由氧和水蒸氣形成。在紅外線中之大缺口則係由空氣中之二氧化碳和水造成。

大氣譜線與太陽譜線之鑑別，可以當太陽接近地平線時陽光需要穿過較厚之大氣而形成之譜線予以比較而得之。

【大陸性氣候】（Continentai weather）

距海岸很遠的大陸內部，氣溫差較大，炎熱與寒冷的差異很大。這是因岩石或砂的比熱小（約0.2），不易保持熱量的緣故。所以冬夏與晝夜的溫度差也變大。這種氣候叫做大陸性氣候。

【大陸漂移】（Continental drift）

地球表面有上下移動，現在的陸地以前曾經在海下。這些移動隨等衡平衡而同時發生。從寒武紀時代以來，地表是正在上升。同樣的地表也要水平移動，這種移動所需應力比垂直移動小得多，因爲不要力去抗衡地心引力而能將地殼升至等衡平衡線以上。

【Ⅰ】漂移實證

由褶曲山脈的存在可以證明過去曾有大量水平移動，依范得格其特（*Van der Gracht*, 1928）阿爾卑帶（*Alpine belt*）的岩石由原長 600～1,200 公里褶曲成寬 120～150 公里的山而縮短。中亞細亞山脈南由喜馬拉亞至蒙古、西伯利亞交界縮短了約 3,000 公里。艾爾濟斯（*Elkins*, 1912）估計阿帕拉契山脈（*Appalachian*）的原寬是現在 300～600 公里的 1.5～2.5 倍，指示曾至少縮短150 公里。這些壓縮的數字尚有可疑，可是地殼縮短確屬事實。因在每一例都曾有大塊陸地對其他大塊陸地的相對移動而構成大陸漂移。

美國加州田羅（*Tejon*）地震（1857）位移爲20 呎，桑港地震（1906）位移 21 呎，帝王谷地震（1940）水平位移 12 呎以上。由斷層的露出全長推定在過去幾百年內平均水平移動僅 10 呎，可估計移動量不大。費特（*Whitten*,1948）提示由大地測量證據推定在加州漂移速率爲 15 呎/世紀。

加州海岸山脈的變形自中新世以來一直在進行。如以每年 0.1呎的漂移計，自中新世以來 2×10^7 年以上，將有400 哩的偏移。我們可以說今日看到的漂移足夠使地表對他部發生大的相對偏移。到底發生何樣大陸漂移尚沒有確論，只有藉一些假說來說明。

【Ⅱ】泰勒說（*Taylor's theory*）

由於在第三紀的初期一反中白堊紀的平靜，曾有急激的造山活動，泰勒推定必有新的應力來源在此時活動。因活動開始得如此驟然，此種應力必來自地球本身，認爲在後白堊紀地球捕獲月球而來。因此潮汐驟

然增加，則地球自轉速度增加而增大其離心率，因而生出大陸向赤道的漂移。又指出阿爾卑—高加索—喜馬拉雅山帶來作爲支持的證據。除去南極洲所有大陸及已在赤道上的都在適當位置有第三紀山脈。最大洲亞歐有最發達的山脈。他認爲南美洲在二疊紀由非洲分離出來，其東部海岸頗似非洲西岸，澳洲南部與南極洲對面相似。對於此理論反對的很多，其最大弱點是假定潮汐力能增強地球自轉，其實正相反。

【Ⅲ】瓦居那說（*Wagener theory*）

瓦居那在泰勒之後兩年提出大致相仿理論，即在志留紀之前矽鋁質全爲一塊大陸稱之爲龐洲（*Pangaea*）漂浮在全球玄武岩層之上。在古生代末期受潮汐力，離極漂移力及由地球自轉軸運動而生之力的影響而裂成數塊。分裂最初進行很慢，當大陸完全分離後其進行加速。在侏羅紀大塊陸地之南端及西端開始與其他部分離開（見圖3—65）。

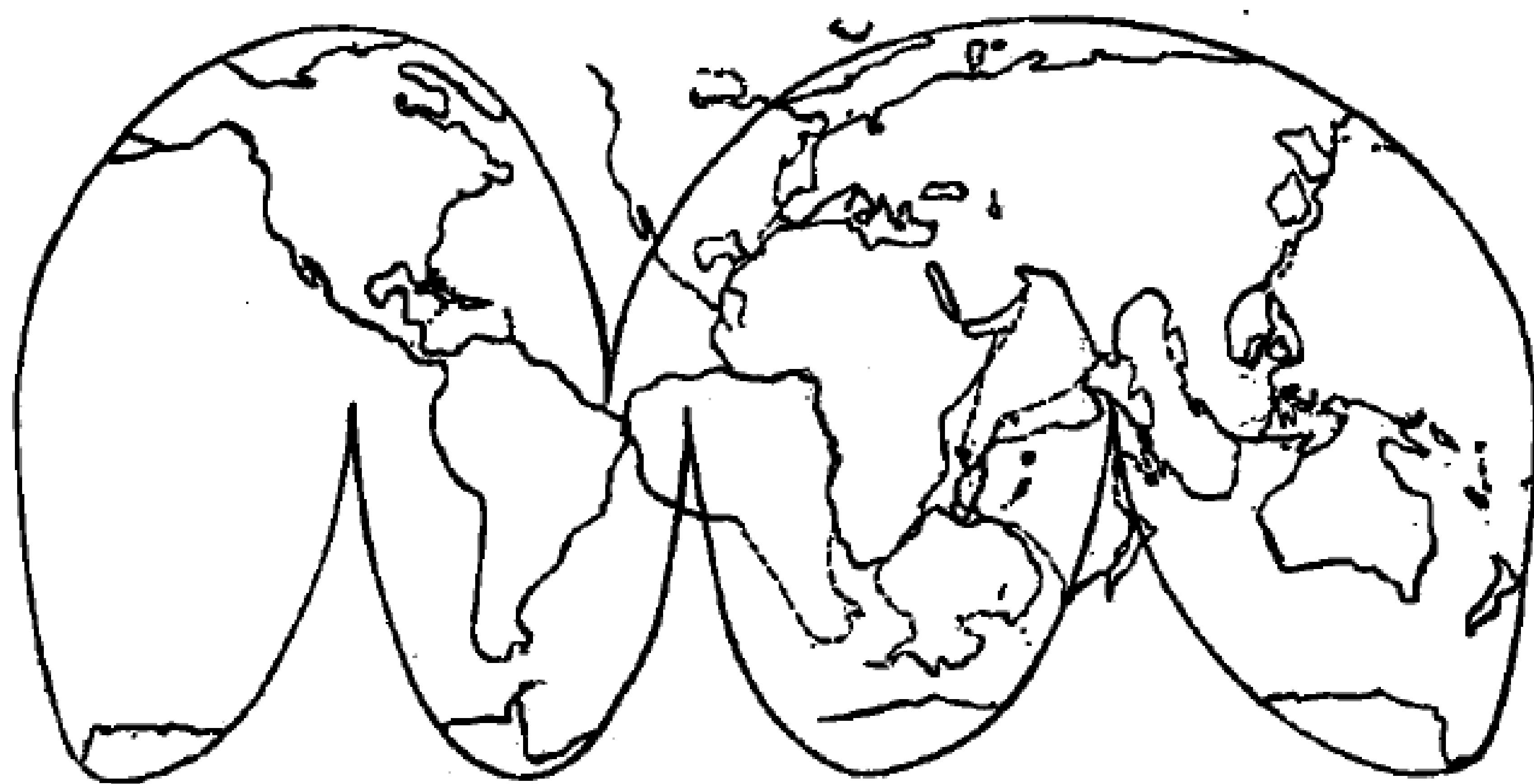


圖3—65　瓦居那漂移說

東端被排開自由移動，澳洲先留在後面向東移動。南極洲最近由南美洲分離出來。當此向南漂移發生，南美向西旅行與非洲間打開南大西洋。南北美在漂移前本連在一起，在北美某一點轉移而離開生出中美洲狹地，剩下的碎片爲現在的西印度羣島。不到第四紀拉布拉與紐芬蘭離開歐洲向西南移，留下格陵蘭成一單離大塊。當此進行時向北面對亞洲

大陸移動由非洲離開留下馬達加斯加成爲碎片，並反抗大陸而壓縮揭起喜馬拉雅山系。有些植物化石在阿根廷、南非、印度、西澳大利亞及南極洲都有分佈，這些地區可認爲原來都在一起。過去氣候的變動特性如假定地殼按地球自轉軸而移動也能解釋。對瓦居那說的反對意見也很多，如未能測得格陵蘭漂移速度爲每年 10～20米，及懷疑潮汐能否發生如此大的應力以抗海底玄武岩層或褶曲、破碎地殼而造成山脈。在大西洋底有花崗岩層之存在可爲反對意見之一。在大西洋底有紅土沉積厚達 12,000 呎，其沉積速率約爲 3×10^{-4} 吋/年，共約需 500 百萬年，比瓦居那所推定的不足 160 百萬年大得多。太平洋底也有同厚的紅土，可想到是否大西、太平兩洋年齡相同。

【大圓】(Great circle)

球體表面上兩點間最短的路程稱爲大圓。

【大葉】(Major lobe)

不論接收或發射電視用的天線，其最強的方向的葉狀區域。

【大電秤】(Large electric balance)

爲測量較大物體所帶較多電量的儀器，其構造與微量天平相同，只是兩板面積增大，距離增加，所帶電荷（即增加電壓）增加。作用於中間電荷的原理卻仍與微量天平相同。

詳閱“微量天平 (*Micro-balance*)”條。

【大電量單位】(Faraday)

又稱法拉第，相當於 9.65×10^{4} 庫倫。

【大熊星座】(Ursa Major)

在北天星座中最易辨認的要算是大熊星座，天文家用它的拉丁名字 *Ursa Major*（大熊），另外又有叫它做犂（*Plough*）、查理的貨車（*Charles' Wain*）、柄杓（*Dipper*）和斧（*Cleaver*）的，更有用大衞的戰車（*David's Chariot*）這個名詞的，在中國自古稱做北斗

。

這星座由七顆星組成，形如一隻有曲柄的小鍋（如圖 3—66），在秋令它在北方，位置很低，鍋口向上。到冬天卻在東方，鍋柄向下。晚春差不多已在頭頂，夏季則逐漸向西下沉，鍋柄向上。你如見過一次，以後不管它的位置如何，再找時便不費力。因爲這星座是找尋其他許多星座的一個關鍵，所以能否找到這星座是頗爲重要的。這星羣有些像一把犂、一隻柄杓、一把斧或一隻斗，卻不像什麼熊。那條柄可以算是熊尾，它的頭和腿乃由許多黯淡得多的小星組成。至於像查理的貨車或大衞的戰車，那七顆星是當作四個輪子和三匹馬看的，恰在中間的一匹“馬”上有一顆很黯淡的星，則算是騎者。

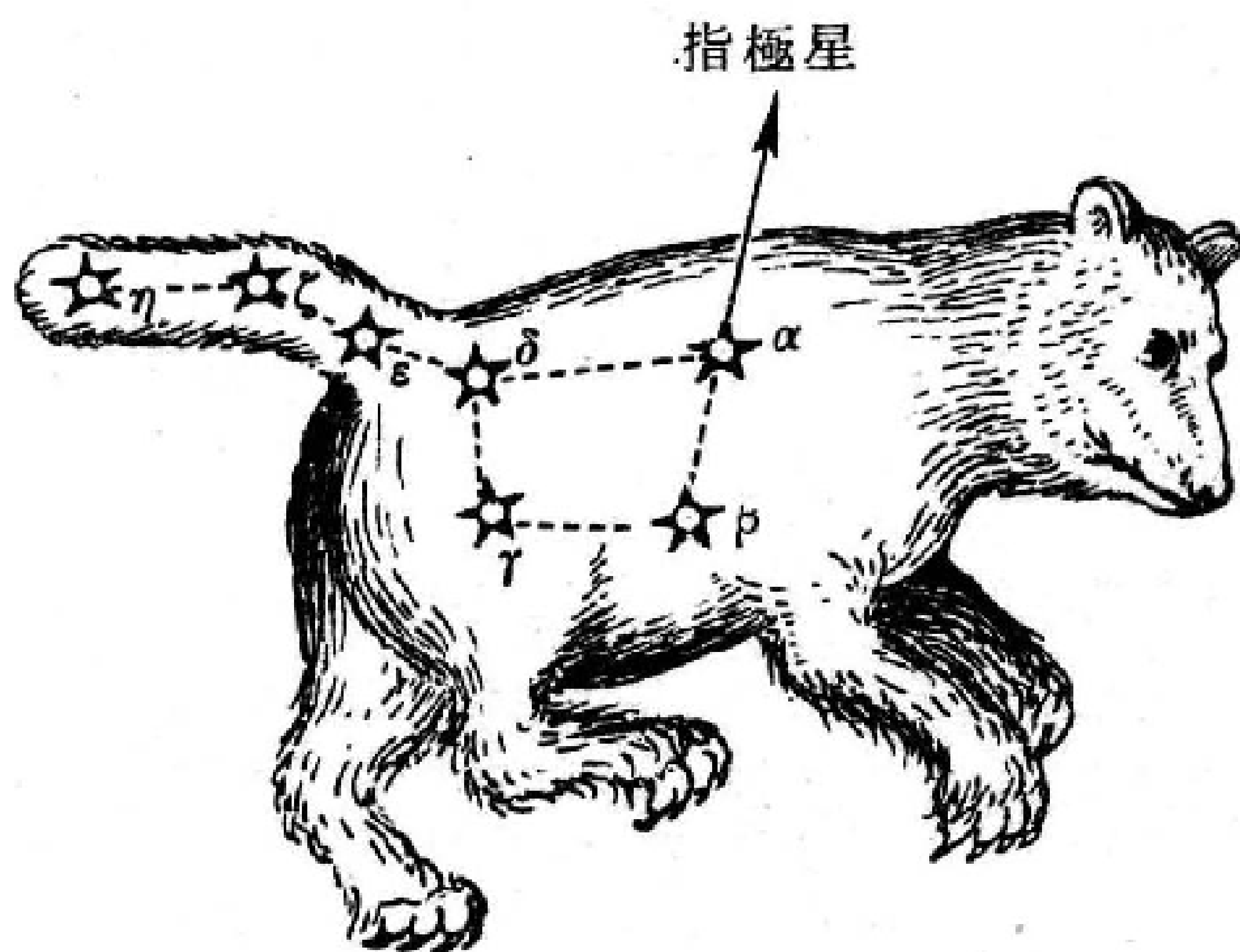


圖 3—66　大熊星座

注意圖 3—66 上星旁的小符號。這是希臘字母。爲使星座中的各星易於指明起見，所以每星各給一個字母，最亮的稱 α，次之 β，如此依字母次序分配至黯淡的幾顆。依此，這顆有騎者的星便稱大熊星座之 ζ，或者照天文家的寫法作 ζ *Ursae Majoris*。大熊星座中 α 和 β 兩顆是稱做“指極星”（*Pointers*）的，因爲這兩顆星剛指那顆常在北方，似爲衆星轉移的中心的，頗爲重要的星，便是所謂北極星或勾陳一（*Polaris*）。

【子午面】（Meridian plane）

子午圈所形成的平面稱之爲子午面。

【子午圈】（Meridian）

又稱子午線。地球上過兩極而垂直於赤道之任何大圈，因其正指北（子）方與南（午）方，故稱爲子午圈。子午圈與恆星之時角相同。在天球上之子午圈爲天球上之大圓，通過天之南北極及天頂、天底。故子午圈亦爲時圈及垂直圈。各觀測地區各有其子午圈。

【子午儀】（Meridian circle）

天文學對於日常的用途就是測時；測時的儀器，普通用中星儀（*transit instrument*），就是測定恆星通過子午圈的時刻，可以知道鐘錶的修正值。得到正確時刻以後，就可以決定觀測地的經度。

大號的中星儀，在遠鏡的水平軸兩端，附有極精密的刻度盤；這叫做子午儀（*meridian circle*）。利用還可以爲日月行星以及基本星（*fundamental stars*）等的中天觀測（*meridian observation*），用以絕對的決定它們的赤緯；同時也可以測定它們的赤經。

子午儀的觀測是限於子午圈上天體的觀測，所以放置這種儀器的房子，要在子午圈方向就是南北方向開窗就可以。子午儀的觀測和測時有密切關係，所以須有精密的天文時鐘（*astronomical clock*）、時計（*chronometer*）、計時器（*chronogr*

子午儀爲十七世紀末葉列米爾所發明。

【子元素】（Daughter element）

不同的（母）元素經放射作用後產生的元素。亦稱繼承元素。

參閱“親－子關係（*Parent-daughter relation*）”條。

【子核】（Daughter nucleus）

亦稱繼承核，經由其他（稱做母核）的核種之放射衰變而成的核種。

參閱“親－子關係（*Parent-daughter relation*）”條。

【小行星】（Planetoid ; Asteroid）

流星和彗星是太陽系裏的天體。混沌初開時，太陽系原是一片雲

氣，凝聚結集的結果，大部分物質凝縮而成太陽以及九大行星，但還有極小部分的物質悠遊於行星際太空，形成小行星羣和彗星，小行星羣是太陽系的侏儒，通常在介於火星和木星之間的軌道上繞太陽旋轉。其數目成千成萬，但是小者盈尺，大者其直徑亦不過兩三百里。小行星羣之形成是當混沌之始太陽初生，剩下來的雲氣向外浮散，元素中質重者先凝，形成水星、金星、地球及火星等四行星，質輕者（主要是氫氣）後聚而形成木星以次之四行星。當雲氣浮散至火星與木星之間，氫元素等尚無法凝聚，而重元素又已爲先生者吸用殆盡，剩下的殘渣遂凝聚而成此先天旣不足（總重量不過一般行星千分之一），後天又失調（因距太陽較木星以次諸星爲近，故太陽照射尙強，凝聚較難）的小行星羣，永遠是零零落落的侏儒石塊，雖然以一定的軌道繞太陽旋轉，但總無法凝聚而形成正常之行星。

十九世紀末巴納（*Barnard*）測定第一號小行星的直徑爲 1″.3 即 768公里；第二號小行星（*Pallas*）爲 0″.6 即 489 公里，第三號小行星（*Juno*）爲 0″.48 即 193 公里；第四號小行星（*Vesta*）爲 0″.53 即 385 公里。假定小行星的平均反照率和火星相等，則它們的全質量約只有地球的千分之一。

小行星因爲自轉而變光；這是以二十世紀初葉俄波爾則（*Oppolzer*）所發現第 433 號小行星（*Eros*）的變光爲最早。

小行星各繞太陽運行，其軌道皆橢圓，但軌道的形狀常常受木星和土星等之引力作用，發生攝動，遂分爲數羣；例如希爾達羣（*Hilda group*）、圖勒羣（*Thule group*）、脫羅央羣（*Trojan group*）等等。

最初所發現的小行星都是用神話和其他的名稱；後來發現日多，就改用新方法。就是自 1925 年起，將英文字母中除 *I* 和 *Z* 二字以外，每月分配二字，其右側再以英文字母（除 *I* 字）順次記之，例如 1938年1月前半（十五日止）所發現的，順次紀爲 1938 *AA*，1938 *AB*，……

；後半（十六日起）所發現的，順次記爲 1938 *BA*，1938*BB*，……；二月前半則爲 1938 *CA*，1938 *CB*，……；後半爲 1938 *DA*，1938 *DB*，……。若經充分的觀測，精密計算其軌道，確定它是新小行星以後，就用含有括弧的數字表之；例如 1920 *HZ* 則以（944）表之，括弧中的數字，是表示第幾次發現的小行星。

【小游星】（Asteroid）

即小行星。

詳閱“小行星（*Planetoid*；*Asteroid*）”條。

【小葉】（Minor lobe）

不論接收或發射電視用的天線，除大葉區域外，任何葉狀區域對接收或發射均弱。

【小熊星座】（Ursa Minor）

在大熊星座和北極星之間（如圖 3－67）有二顆很相近的星，叫

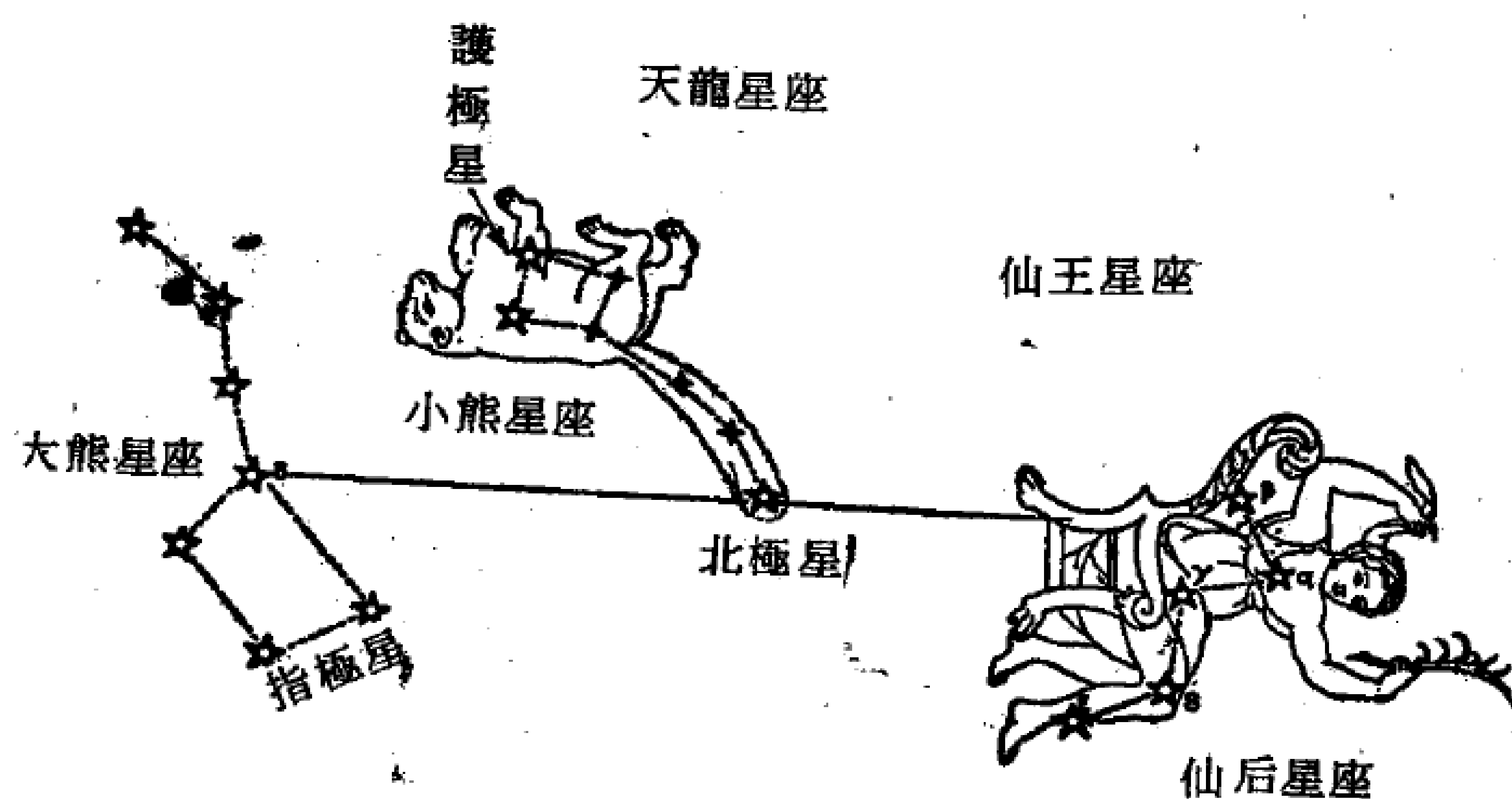


圖 3 － 67

做“護極星”（*Guards*），如果晚空很清朗的話，那麼我們還可以見到四顆星，與護極星和北極星合成一個相彷於大熊星座的形狀。這就叫小熊星座，以北極星做它的尾尖。

【山之形成】（**Mountainization**）

地球上各種各樣大小的山，是各種不同的原因造成的。

絕大部分的山都是由岩石組成的；這些岩石原來是在海底或湖底地層裏，因為海及湖底地層往往是不斷地此起彼落上升或下沉的，雖說這種上升或下沉緩慢得我們感覺不出來，但是日積月累地上升或下沉，就把岩石摺彎了，有拱起的地方，這就成了山，這種山就叫“褶皺山”，整個地球上的大山都是這樣造成的，例如我國的喜馬拉雅山和崑崙山便是。

有些岩石不但摺彎了，而且斷開了，形成了兩個岩石體，一部分上升，一部分下降，上升的地方也形成了山，這種山叫做“斷塊山”。例如我國的東嶽泰山便是。

有些岩石，是從地層裏噴發出來的液體，遇到寒冷凝固堆積起來的，這就是火山活動所形成的火山，例如我國東北長白山脈的白頭山便是。

另外有些山不是上面的原因造成的，而是地球表面上的水、風、海浪、生物等等的力量造成的，因為這些力量比地球內部的力量小得多，所以造成的山往往不高也不大；在原來比較平坦的地方，由於流水不斷地沖刷和切割，慢慢地就出現了比較高的地方，這也是山；風力堆積起來的那些沙堆子，高到數十百公尺的也叫做山；海浪的力量破壞沿岸一帶的岩石，形成一些孤零零的海島，其中較高的地方也是山；有些生物生長和繁殖得很快，死後貝殼堆積起來也造成了小山，如熱帶海中的珊瑚島便是。

【山谷風】（**Valley wind**）

山腰比谷間，在白晝多受陽光的照射而暖和，夜間卻輻射而散失熱，因而變冷。因此，白晝由谷向山吹谷風；夜間即由山向谷吹山風。谷風是一種上升氣流，所以吹著谷風的山，在谷風最強的正午過後，山頂上往往會積下雲堆。

【川霧】(River fog)

秋季的晴天，風力微弱的晚上，河川或湖沼周圍的地面，因輻射而喪失熱，地面附近的空氣就寒冷，但河川湖沼的水卻不太冷，溫度比空氣高。

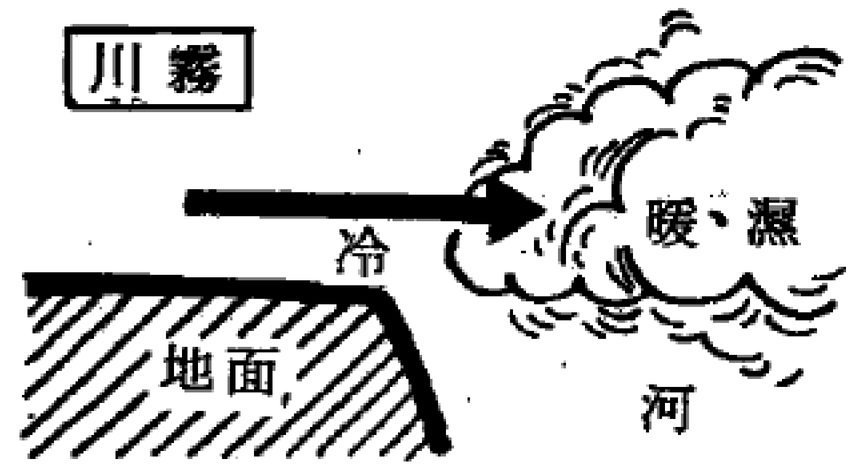


圖 3 — 68

因此，由河川或湖沼的水面，升起水氣似的水份，而形成霧，這就是川霧。如圖 3 — 68 所示。

【工作】(Work)

工作又叫做功。

詳閱"功 (*Work*) "條。

【工作函數】(Work function)

即功函數。

詳閱"功函數 (*Work function*) "條。

【工作電流】(Operating current)

表示工作點之電流，又稱靜止屏流。

【工作電壓】(Working voltage)

固定電容器之額定電壓，亦爲該電容器工作時所能承受的最大電壓，超過此值時，該電容器即遭破壞。

【工作機】(Working machine)

將原動機供給之"能"變爲所需之"功"的裝置；亦即使施力之大小、方向、快慢改變爲所需程度的裝置，如：打字機、起重機等，通稱爲"機械"。核子反應器可視爲產生能的裝置。"簡單機械"(*simple*

machine ）爲簡單型構之工作機。

【工作點】（ Working point ）

電子管特性曲線上對應於電子管各電極上沒有交變電壓時的一點。工作點的位置決定於電子管電極上直流電壓的大小。工作點的選擇（即電子管電極上直流電壓的選擇）決定於該電路的電子管應當工作於什麼狀態。對於*A*類放大，工作點應當選在特性曲線直線段的中部；對於*B*類放大及屏極檢波，工作點應當靠近特性曲線的下面彎曲部分。欲正確地選擇工作點，還有一件很重要的事情，就是應當知道加到電子管控制柵極的電壓幅度如何。例如對於*A*類放大，選擇工作點，應使電子管在最大的正電壓時，也不達到特性曲線的上面或下面的彎曲部分，即使柵極上的電壓達到最大正值，也不發生柵極電流等。

【工程質量單位】（ Engineer's unit of mass ）

在*C.G.S.*制或物理量度制中，長度係以厘米爲單位，質量係以克爲單位，時間係以秒爲單位，力係以達因爲單位。工程量度制則與此不同，其中之長度仍以米爲單位，時間仍以秒爲單位，力乃以仟克重爲單位。如果要在工程量度制中也能使加速度定律適用於$\vec{F}=m\times\vec{a}$，這一簡單公式時，則勢非如下所述爲質量定出一種新的單位不可。

假設在某一種加速度的情況中，係以仟克重爲力之量度單位，以仟克爲質量之量度單位，以及以米/秒^2 爲加速度之量度單位，則不能將所得到之量度數直接代入牛頓的力之公式中，蓋此一公式有一前提，那就是式中之力應以達因表示，質量應以克表示以及加速度應以厘米/秒^{2}表示。又因爲

1 仟克重 = 981,000 達因

1 米 = 100 厘米

1 仟克 = 1,000 克

我們必須用 981,000 來乘仟克重之量度數，才能得到達因的量度數。

此外，須用 100 乘米之量度數才能得到厘米，用 1,000 乘仟克之量度數才能得到克。(但較大之量度單位恆產生較小之量度數；反之，較小之量度單位則產生較大之量度數。譬如說，米為較大之量度單位，厘米爲較小者，故量度厘米之量度數恆爲米之量度數之 100 倍；5 米之一段距離乃等於 500 厘米。又仟克重爲較大之量度單位，達因爲較小之量度單位；以達因所表示之量度數遂爲以仟克重表示者之 981,000 倍。)

現在，我們便可以將已經換成以達因、克及厘米所表示之量度數代入牛頓的力之公式，於是得到：

$$F\ (\text{仟克重}) \times 981,000 = m\ (\text{仟克}) \times 1,000 \times a\ (\text{米/秒}^2) \times 100$$

式之兩邊各除以 100,000 後，則爲：

$$F \times 9.81 = m \times a$$

這就是說：

$$F\ (\text{仟克重}) = \text{質量}\,m\ (\text{仟克}) / 9.81 \times \text{加速度}\,a\ (\text{米/秒}^2)$$

準此，在工程量度制中，$F = 1$ 仟克重之力將使 $m = 9.81$ 仟克之質量產生 1 米/秒^2 之加速度（$1 = 9.81/9.81 \times 1$）。9.81 仟克之質量稱爲對工程量度制適用之工程質量單位。所以說，1 工程質量單位 $= 9.81$ 仟克，此一單位另無特別之名稱。據此，當我們用 9.81 來除某質量之質量仟克數時，便得到該質量之以工程質量單位計算量度數；例如：2,000 仟克質量 = 2,000 / 9.81 = 203.8 工程質量單位。

換句話說，即如要使得牛頓加速度定律能夠應用於工程量度制時，勢非將力化成仟克重，質量化成工程質量單位（仟克 /9.81），以及將加速度化成米 /秒^2 之單位不可。

【工廠因數】(Plant factor)

電力廠的平均動力負載與其額定容量之比稱爲工廠因數。有時也稱爲容量因數。

【已調波】(Modulated wave)

指含有聲頻成分的無線電波。

【已調振盪】(Modulated oscillation)

這種振盪，它的性質在變化著，這種變化或多或少是週期性的，而且比振盪本身的週期要緩慢得多。隨著振盪變化的性質不同，已調振盪可以分爲(1)調幅振盪其振盪的幅度隨著時間而變化；(2)調頻振盪其振盪的頻率在變化；(3)調相振盪其振盪的相位在變化（在最簡單的情形下，調頻和調相使得已調振盪具有相同的形狀）。除了這幾種簡單的型式以外，已調振盪還可能有更複雜一些的型式，即振盪的頻率和幅度同時發生變化。有些時候會遇到這種複雜的已調振盪，不過在大多數情況下，實際上都是採用簡單型式的。

已調振盪不是諧振，而是頻率不同的若干個諧振相加的結果。換句話說，除了載頻 f，即發射機在無調制時所產生的諧振以外，在已調振盪的成分中還出現了所謂旁頻的諧振，這種旁頻的幅度、頻率和相位都隨著調制的型式及調制電壓的頻率而變化。所以任何一種已調振盪都佔據著一定寬度的頻帶。

在由頻率爲 F 的諧振調制電壓所進行的幅度調制的最簡單情況裏，已調振盪的成分中只有兩個旁頻，即 $f+F$ 和 $f-F$。如果用的是非諧振調制電壓，則會出現旁頻 $f+2F$，$f-2F$，$f+3F$，$f-3F$，這是由於調制電壓的諧波 $2F$、$3F$ 等而生成的。由此可見，在幅度調制時，已調振盪所佔據的頻帶是等於最高調制頻率的兩倍。在調頻振盪（或調相振盪）裏，根據調制的諧波定律，在已調振盪的成分中便存在著無限多的旁頻 $f+F$，$f-F$，$f+2F$，$f-2F$，$f+3F$，$f-3F$ 等等。不過這些旁頻的振盪幅度是隨著遠離載頻而減小，實際上只需考慮有限數目的旁頻；調制時頻率的變化範圍越小，則所需考慮的旁頻數目就越少。

【已調等幅波】(Modulated continuous wave)

載波爲一固定聲頻所調變的電波。

【已調載波】(Modulated carrier)

含有聲頻的射頻載波。

【已整電流】(Rectified current)

經過整流器的含有紋波脈動直流。

【干涉】(Interference)

兩列以上的波重疊時，產生波振幅隨距離或時間的變化，就是干涉現象，最常見者是指頻率相同或近乎相同的數波列的干涉。在干涉現象中，合成波振幅在各處呈現極大與極小，這是波動的特性，不能以幾何射線描述。自一波源發出的數波列，在空間經不同的路程傳遞到達同一點，各波列的相位(*phase*)關係保持一定，即可相互干涉。若要兩個以上的波源發出的波產生干涉，則各波源的相位關係應保持不變，這稱爲同調波源(*coherent sources*)。

波所傳送的能量，與波的振幅之平方成正比。當經不同路程的數波重疊時若不生干涉，則合成波的能量爲各成分波能量之和，在空間各處能量平均分佈，因此合成波的振幅 A 的平方，等於各成分波 A_i 的平方之和，即

$$A^2 = \sum_i A_i^2$$

若生干涉時，若合成波與成分波之振幅的關係爲

$$A^2 < \sum_i A_i^2$$

即在此處合成波的能量，比成分波的能量和少，這稱爲相消干涉(*destructive interference*)或稱破壞性干涉。反之，若重疊之處合成波的能量大於成分波的能量和，即

$$A^2 > \sum_i A_i^2$$

這稱爲相長干涉(*constructive interference*)，又名建設性干涉。

有相長及相消干涉時，能量不再平均分佈，而有大小之別，但總能量仍然不變，故並不違背能量守恆原理。圖 3 — 69 是頻率和相位相同的兩列波（細線），其振幅不同，重疊的合成波（粗線）頻率和相位仍相同，這是相長干涉的情形。

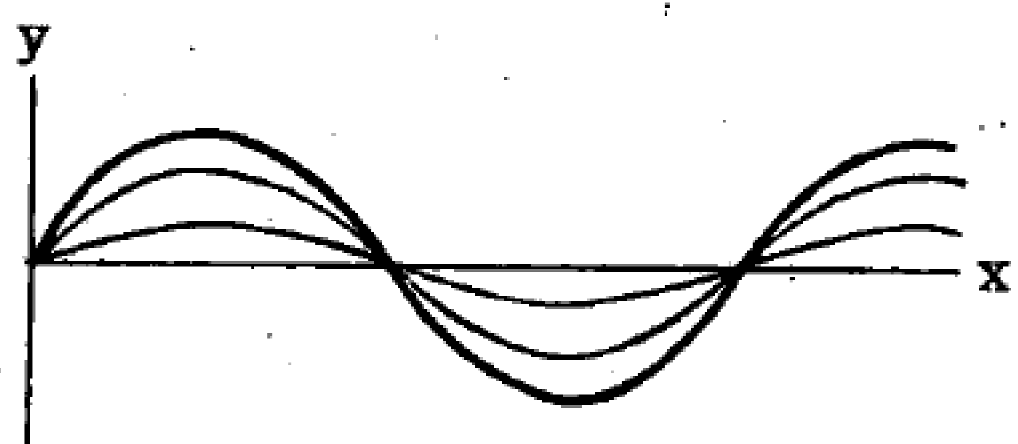


圖 3 — 69

圖 3 — 70 是兩列波頻率和振幅（y_1，y_2）相同，但相位差約 180°，其合成波的振幅（$y_1 + y_2$）近乎零，這就是相消干涉。

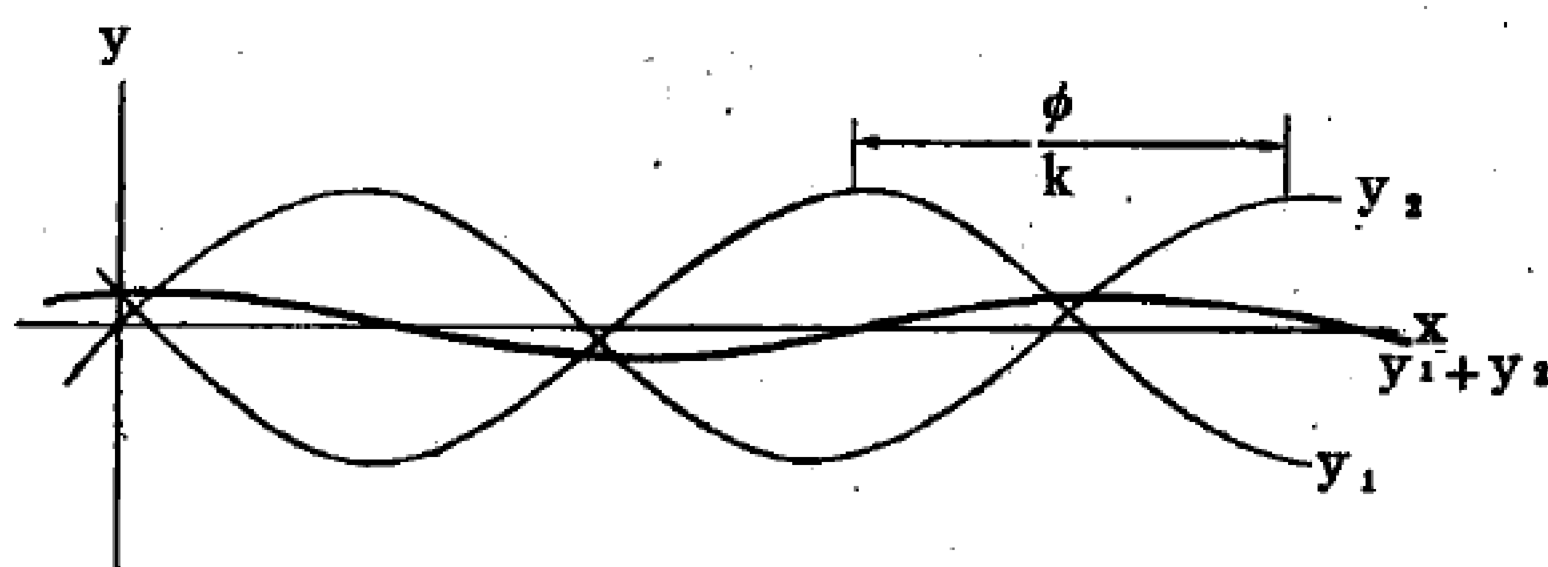


圖 3 — 70

若兩波列的頻率和振幅均相同，在紘上相反方向行進，干涉時生成駐波。

參閱“駐波（*Standing wave*）”條。

1. 聲音以波動傳送，聲波常有干涉現象，當兩列聲波振幅相等而頻率近似相等，行經相同區域，則合成波的振幅隨時間而變，所聽到的聲音頻率大不相同，這種干涉現象稱爲拍。

參閱“拍（*Beats*）”條。

2. 光波生成光的干涉。自光源發出的光束分成兩部分，經不同路程再會合成一射束時，若相位不同，即可在某處生成相消干涉（暗區），別處又生相長干涉（亮區）。由能量守恆原理，干涉不致損耗能量，在暗點失去的能量即位於亮點。干涉圖樣常是明暗相間的光帶，且間隔相等。能生干涉圖樣的光束稱爲同調光束，即各光束的相位關係保持不變；不同調（*incoherent*）的光束不會產生干涉圖樣。

3. 物質波也生干涉效應，這說明電子及中子等的繞射現象，是波動力學中的重要問題。

現以水波爲例說明之。爲了解波槽中水面上波動的干涉，用點波源產生圓形波。波源間隔爲 d ，各以相同之頻率發生圓形脈動。兩起波器同時觸入水面，則兩波源必同時產生波峯（或波谷），此時兩波稱爲"同相"（*in phase*）。兩起波器動作一致時，波源發出之波動，可以兩組向外推進的同心圓表之（圖3—71）。因兩波源所生之波均爲週期性波，故相鄰兩波峯間的距離即爲一個波長；又因二者"同相"，故兩波動相對應的兩圓半徑亦相等。

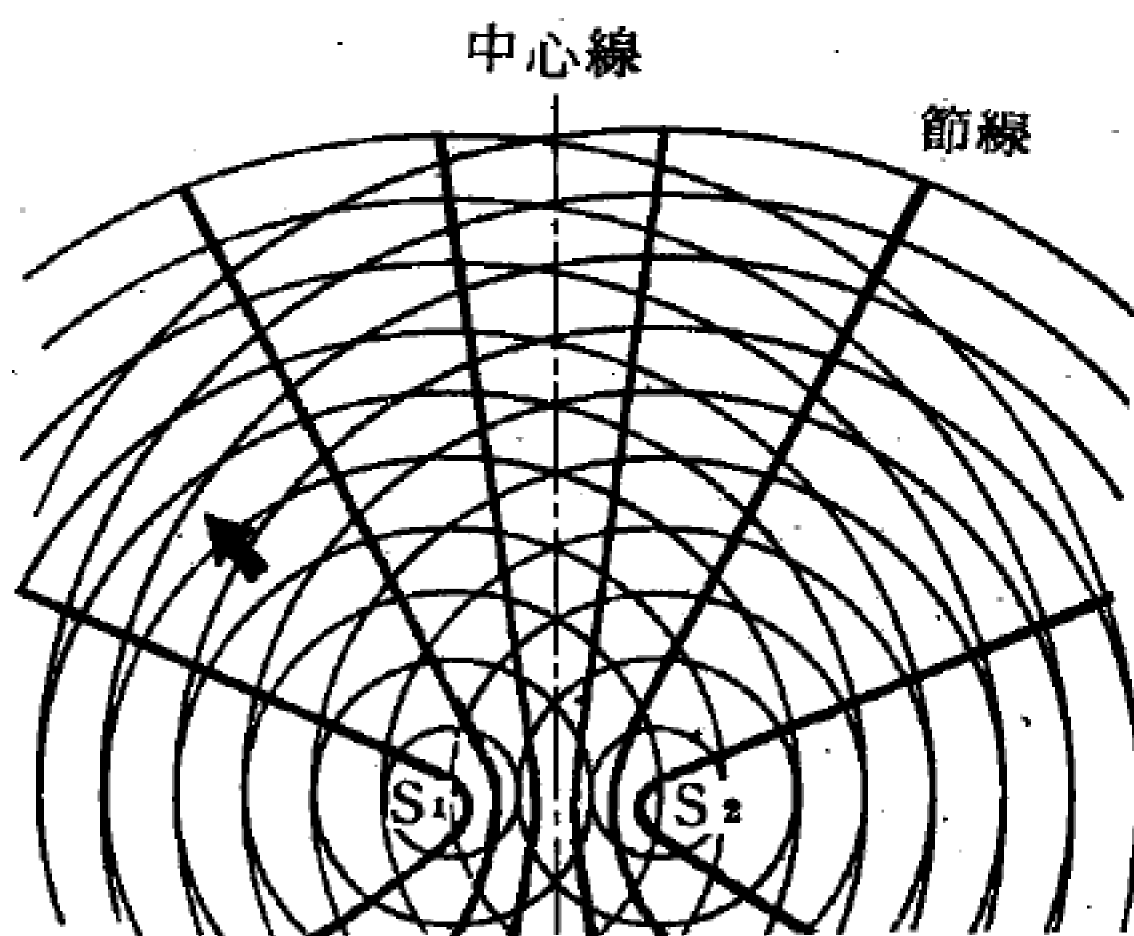


圖 3 — 71
相隔距離爲 d 之兩波源 S_1 及 S_2 ，圖中之圓表所發出之波峯。此兩波源具週期性且爲同相。圖中黑色箭矢所指之區域，於圖 3 — 73 中詳加討論。

圖 3 — 72
同相之兩點狀波源相互干涉時所攝得之圖片。圖中顯見節線呈向外輻射形狀。

當兩波動相互重合時，根據重疊原理，兩波峯相互重合之處，必爲"雙倍"波峯（*double wave crest*）；該處水面特別突起，在波槽下之幕屏上顯現特別明亮之區域。故圖3—71 之重疊波形，圖3—72 之相片，爲其實際攝製而得，證明理論上之推測與事

實相符。自然，圖中均係某一瞬時之情況。

茲再研究圖中波動之推進情形。先考察“雙倍”波峯之運動路線。如圖 3－73 所示。兩弧形曲線分別代表由兩波源所發出的兩個波峯，此兩線之交點即爲“雙倍”波峯所在。而圖中之虛線則表示經過短時間後，兩波峯所在位置。因波峯係自波源向外擴張，故“雙倍”波峯亦遂按圖中箭矢所示方向前進。經過一週期的時間 T，波峯各前進一波長，而“雙倍”波峯亦前進一定距離。波槽中有許多個此種“雙倍波峯”（自然亦有對應的“雙倍波谷”），其進行方式類同。此雙倍波峯（或波谷）之集體行動，遂描出整個干涉波進行情況的輪廓。

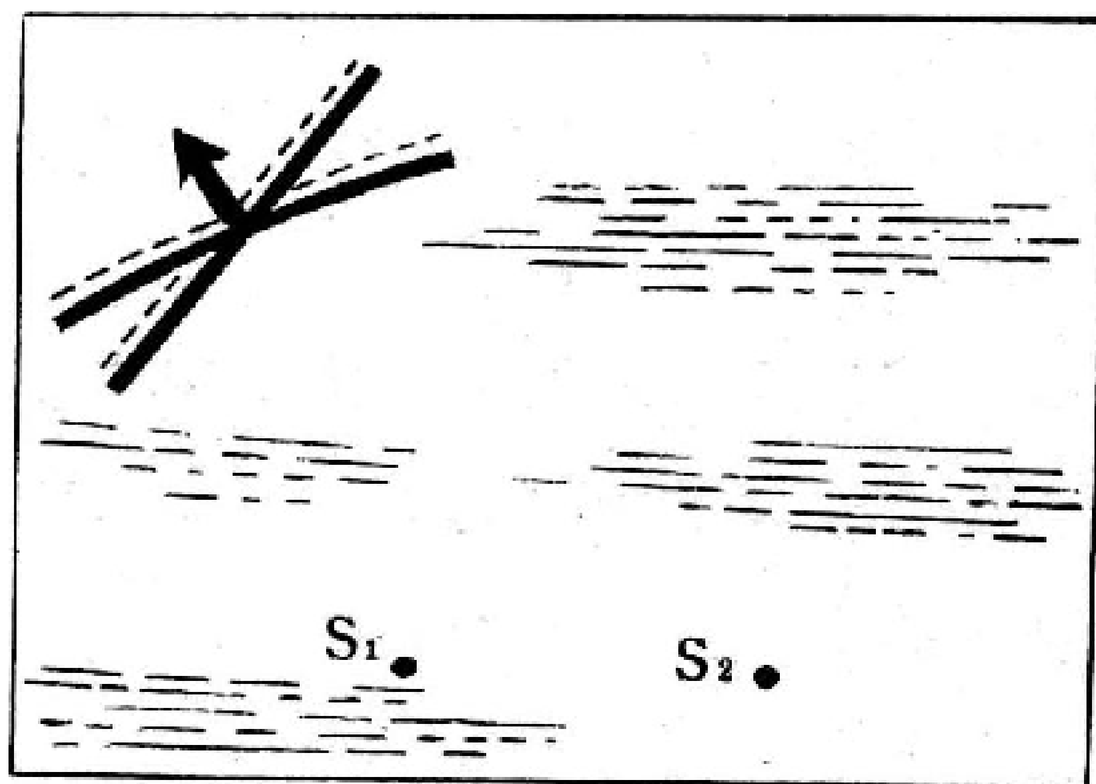


圖 3－73
黑線即爲圖 3－71 中黑色箭矢頂端處之雙倍波峯。虛線圖表瞬時後兩波峯之位置，兩黑點代表波源。

至於圖 3－72 中深黑色輻射形線條，乃爲甲波源所發出的某波峯與乙波源所發出的某波谷互相重合，而使會合點的水面質點停留在平衡位置不能動盪的影像。就圖 3－73 中任取一深黑色線條來研究：此線上某一點爲 S_1 所發出之波峯恰與 S_2 所發波谷重合，水面質點位移爲零，不受波之影響。沿此輻射形線條在上面所說點附近另取一鄰近點研究，在此點上

圖 3－74
兩個波源造成之干涉條紋。圖示之性質與圖 3－71 相似，惟所用之波長較長。

：S_1之波正位移已減少，而S_2之波負位移亦已減少，彼此仍成對稱抵消，故線上之所有點之合位移均爲零。此種無波之線，是節點的集合，稱爲節線（*nodal line*）。

若將實驗時所生的波長改變，或將兩波源間之距離改變，則干涉情況亦隨之改變，但基本形式則仍與此相似。圖3—74 所示爲波長較長之兩波互相干涉之情形。

在研究過程中，我們並未採用水之任何特有性質，僅應用重疊原理而得上述結果，故此一結論可應用於任何波動而不限於水波。

【干涉計】（Interferometer）

又名干涉儀，是用干涉條紋以精確地測量長度或長度改變的光學儀器。干涉計有很多型式，如邁克生干涉計及法布立、拍若干涉計等。本條所介紹者爲圖曼（*Twyman*）據邁克生（*Michelson*）型改造設計者，其原理可由圖3—75 瞭解。

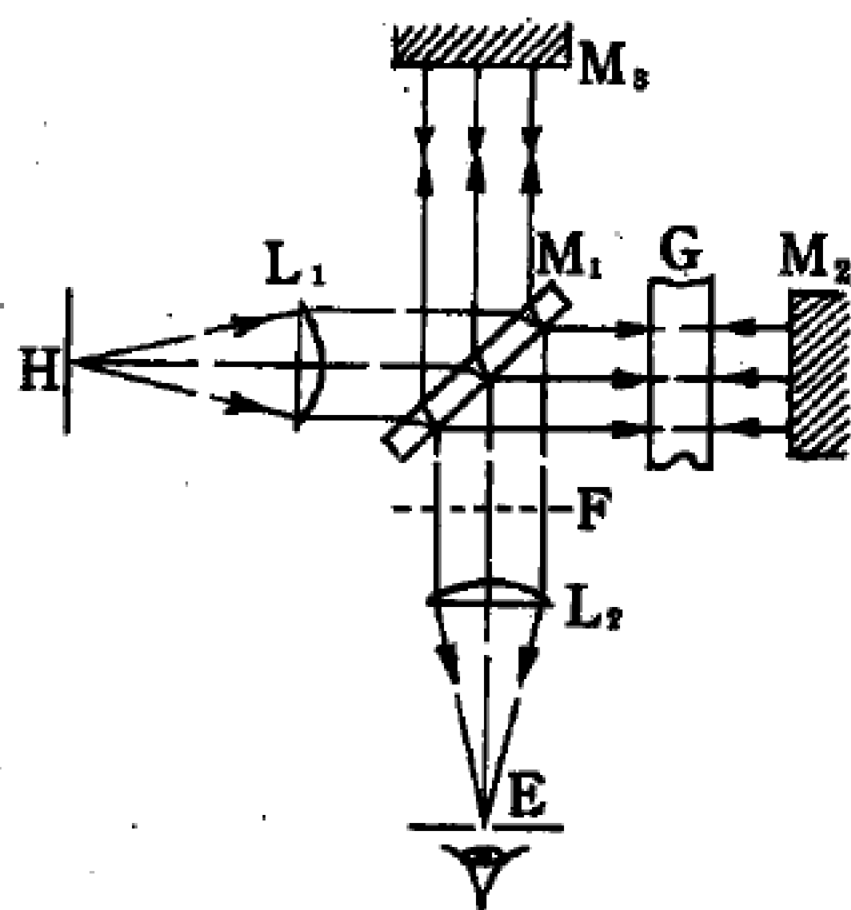


圖 3 — 75

單色光聚焦於透鏡L_1焦點的小孔H上，經此透鏡成平行光柱與軸以45°傾斜射在半鍍銀鏡M_1上，一部分依方向M_3反射，一部分則向M_2透射。於是此二光柱再被兩片全鍍銀的鏡M_2及M_3反射回去，而經過透鏡L_2，再聚焦於眼睛所在之點E上。調整M_1M_2及M_1M_3之距離使兩個路徑的光學長度相等，又再進一步精細調整鏡之傾斜使在E上形成之H兩個物像正巧相合，當此場合在E處眼睛看出乃一照明均一之視場，而此系統可視爲供應兩個完全平的波前（*wave-front*）相合在一平面內即圖中所示之點線F。若其中之一波前（即謂由M_2鏡而來的波前）因由M_2而來之光柱爲某因所延緩而致歪曲時，則

在E處不再呈現爲均一的，而呈現干涉條紋。

例如設有玻璃的光學平面平行板（並非均勻一致的）置於G處，則可呈現與圖 3 — 75 所示類似的情形。如此干涉條紋乃因延緩所致，而此延緩乃是光線以有變化之速度穿過玻璃塊，或換言之，乃是穿過玻璃有一折射率的變化。因此外觀的情形可視爲在不同光程穿過玻璃塊時之輪廓圖。因任何特殊條紋均表示nt 之光程，此處n爲物質之折射率而t爲其厚度，但亦須憶及當樣品放干涉計中光線穿過此物“兩次”，故總光程差爲$2nt$。

故干涉計立即可做爲一種工具，對於看見輪廓圖，及在玻璃表面上標記“高”區域，能以手工局部磨光（有時稱之謂“修樣”），直至視場成爲均一的，且無條紋出現爲止，實用上，須知何處是“高”區域，何處是“低”區域，須由光的路徑長度M_1M_2或M_1M_3增加時觀察條紋之移動而得。例如若假定圖 3 — 76 爲在圖 3 — 75 中F位置上波長的截段，則以手指輕壓近M_2處儀器之金屬基礎，使路徑之長度M_1M_2增加則波前M_2（圖 3 — 76）將由波前M_3平面扯遠，且對於任一特殊條紋維持其原有路徑差，必須“向外”移動（即圖解中所示之場合）；即條紋顯示由一中心膨脹。若察見如此現象，應指示波前M形象（圖 3 — 76）爲凹形朝向波前M_3平面，故穿過玻璃塊中心之光線比穿過較外位置者爲慢。欲減少此中心區域之延遲察覺必須減少在此區域中玻璃的厚度（用局部磨光法）。故中央干涉條紋在表面上標識時，將註明爲“高”區。

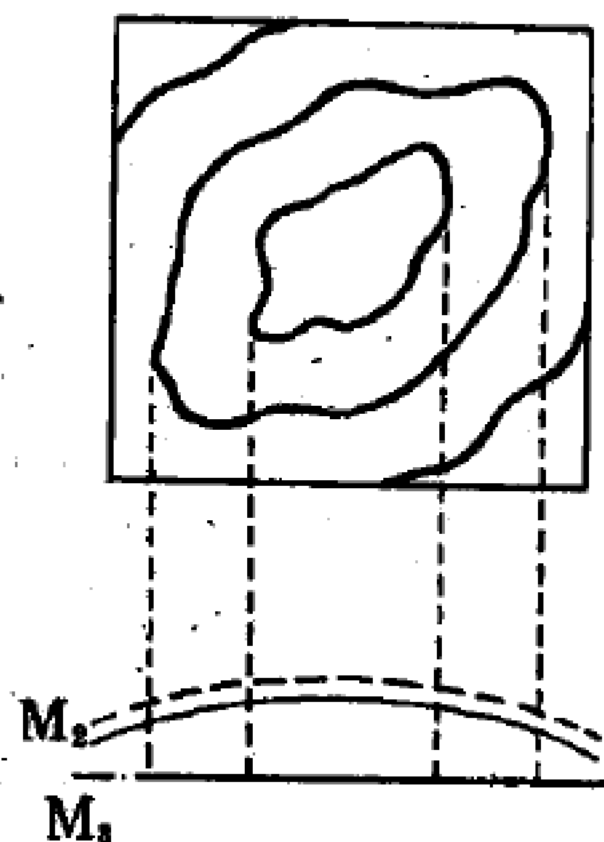


圖 3 — 76

應指出所見干涉條紋可能起因於玻璃之缺乏均勻性，或起因於表面之缺乏平坦性，或二者兼而有之，但因干涉計紀錄合併的效果（即謂 2

t 如前所說明)，僅須修整一表面直至 $2nt$ 量與欲測樣品之全面積者同為止。

不論使用干涉計做爲測驗透明物質之均匀性或表面之平坦性，亦可於測驗當光線穿過稜鏡—透鏡系統或一完全光學儀器時光程之規律性

圖 3 — 77 (*a*)及(*b*) 分別示明測驗一 60° 稜鏡及一透鏡時之必須修正。前者場合，鏡 M_2 平面轉動使光線轉向穿過稜鏡，當此稜鏡在最小偏斜位置。在後者場合中，一眞正的球面凸鏡安置在透鏡產生的收斂光

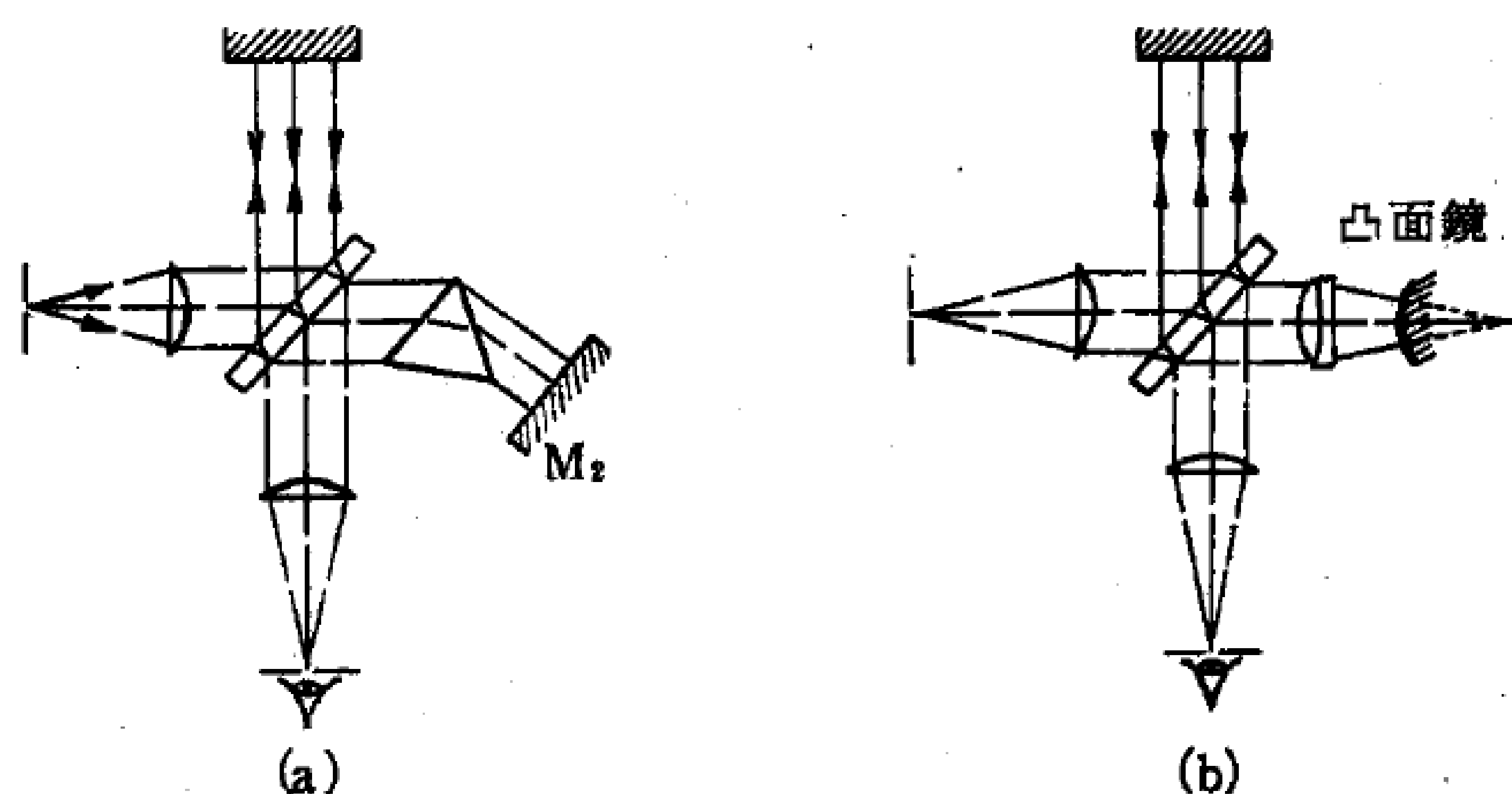


圖 3 — 77

錐中，且調整 (用一精密的測微螺絲) 使其曲率中心與透鏡之焦點重合。特性干涉花樣相當於一透鏡系統之不同像差。

參閱 " 邁克生干涉計 (*Michelson interferometer*) " 條。

" 法布立、拍若干涉計 (*Fabry-Perot interferometer*) " 條。

【干涉條紋】(Interference fringes)

當兩波源產生之波互相干涉時，則吾人在屏幕上可見明暗相間之條紋，此即干涉條紋。

參閱 " 干涉 (*Interference*) " 條。

【干擾避用波段】(Interference guard bands)

在兩波段之間增加一避用範圍，方便使用時發射頻率臨時增加的領域，以避免電視臺彼此間的干擾。

【干擾濾波器】(Interference filter)

將根本干擾的來源消除的工具。

四　　畫

【不可入性】(Impenetrability)

凡物體均有體積，且必占有空間，故二物體不能同時占一位置，是爲不可入性。如以空玻璃杯倒納入水中，雖捺至水底，而杯內不能完全入水；蓋因杯內容有空氣，水不能同時入杯內。又在滿盛水之杯內，入以石，則見水溢出，亦因石與水不能同占一處之故。

【不可用之能】(Unavailable energy)

如在不可逆過程中，有些能量變爲熱能或其他形式的能量而不能再做功，這些能量即爲不可用之能。

【不可見光】(Invisible light)

波長之過短或過長，不能引起人之視覺者。分紅外線及紫外線：

紅外線(*infrared ray*)——連續光譜上紅光以外波長較長部分的光，其範圍在 7,800～340,000 Å之間。

此部分光感光程度(即化學作用)最弱；但熱作用最強(物體受熱未紅熾時的輻射，多爲紅外線)。故又名“熱線”。

紫外線(*utraviolet ray*)——連續光譜上紫光以外的不可見光波。其範圍約在 140～3,900 Å之間。

此部分光感光程度(即化學作用)最強，故又名“化學線”。殺菌力亦大，易爲臭氧吸收，可作消毒、殺菌及治療皮膚病之用。

紅外線與紫外線皆不易透過玻璃。

【不可逆性】(Irreversibility)

若一過程，其時間反轉過程(*time-reversed process*)在實際上幾乎不會發生，則稱此過程爲不可逆過程。所有的非平衡巨觀熱力系統均有趨向平衡的動向，即趨向於最大亂度，故這些系統均呈現不可逆性。在達平衡的孤立系統中，並不能分辨出過程是不是具有時間反轉性。

時間的方向只有當孤立巨觀熱力系統在某時刻時不太紊亂，而後趨向於最大亂度的過程正進行時才能察覺，故在非平衡的系統中才具有不可逆性。

更精確的說，若由許多孤立系統所形成的系集，最初受到某些限制。若將此限制除去，系集即經某過程而達另一狀態。若這時再將原先的限制加回系集，系集並不能恢復到原先的情況，這種過程是爲不可逆者。假定Ω_i及Ω_f分別表示最初及除去限制後的可容許物態數，則當$\Omega_f > \Omega_i$時，其亂度增加而具有不可逆性。

【不可逆過程】(Irreversible process)

在我們的日常生活中，多的是看起來只順著時間的單方向進行的過程，永遠不會逆著時間的進行方向發生。我們統統稱它爲不可逆過程。這裏有一些例子：

二個等質量的球，在運動中相互碰撞以後，以比原來小的相對速度分開來。一部分消失掉的力學能，被球所吸收變成了球的內能。二個球的溫度都增高了。我們從來沒有看到過逆向的過程：碰撞的時候，溫度降低了，二個球以比原來高的相對速度分開來。

二片金屬塊，一冷一熱，互相接觸。慢慢地，它們的溫度會變成相等。我們也從來沒有看過逆向的過程，二片金屬塊原來的溫度是相等的，自然而然的溫度起了變化，一塊變冷而另外一塊則變熱。

一個容器隔成二個相等的部分，一部分中含有氣體，另外一部分是空的。在隔開二個部分的擋板上開一個小孔，氣體就會膨脹，不久就會充滿了整個容器。我們永遠也不會看到氣體會自然而然地統統都跑到容器的一個部分裏面去。

我們知道所有上面所提到的過程都遵守能量不滅定律。我們如果想像，逆向過程可以發生，同時，並不違背能量不滅定律。事實顯示出，它們並沒有違背任何一條已知的不滅定律，諸如動量和角動量不滅定律

等等。不滅定律並沒有不讓逆向過程發生，但是爲什麼它們就是不會發生呢？

上面描述的最後一個例子，氣體膨脹乃不可逆過程裏面最簡單的一個例子。可以用來說明所有其他的不可逆過程。只要瞭解了氣體膨脹過程不可逆的理由，再加以必要擴充，就可以瞭解所有其他的不可逆過程了。

【不可溶性】(Insolubility)

凡溶解度在 10^{-3} 以上者稱爲可溶。10^{-3} 至 10^{-6} 之間者稱爲微溶。10^{-6} 以下者則稱爲不可溶，此種性質稱爲不可溶性。

【不可壓縮流體】(Incompressible fluid)

研究流體的平衡或運動時，若可免計密度變化，則這種流體稱爲不可壓縮流體。若須考慮密度變化，則稱爲可壓縮流體。通常液體被視爲不可壓縮流體，而氣體被視爲可壓縮流體。但討論聲波傳播時，雖爲液體，亦須當作可壓縮流體。

【不可壓縮體積】(Incompressible volume)

同不可壓縮流體，當研究流體於平衡狀態或運動時，若不考慮體積的變化，則此體積稱爲不可壓縮體積。反之，若考慮及體積的改變，則稱爲可壓縮體積。

【不失眞電力輸出】(Undistorted power output)

輸出的聲頻電力，其失眞度耳官尙未感覺者。

【不良導體】(Bad conductor)

即不易導電的物體。導體與非導體於導電作用只有程度上的差異；其介於兩者之間者，稱爲半導體 (*semiconductor*) 或不良導體。 如人體、地球、濕木皆是。

【不相干性】(Incoherence)

又稱爲不相參性，以完全獨立之二光源 S_1 和 S_2，例如在玻璃燈泡

內並排的兩條細燈絲。在屏C上除了相當均勻的照明外，並不呈現干涉條紋。若作合理的假設即可予以解釋，如二光源完全獨立，到達點P之二光束間的相位差將以散亂方式隨時間而變化。在某時刻或能適合相消條件，在短時刻後（或爲10^{-8}秒）又恰適合增強條件。在屏C上所有其他點相位行徑亦有相同的散亂情形，其結果爲此屏受到均勻照射。在任何點的強度等於各光源S_1和S_2在該點所生強度的和。在此情況時發自S_1和S_2的光束謂之完全不相參（*incoherent*）或謂不相干，此種性質謂不相干性或不相參性。

【不相容原理】（Exclusion principle）

此爲庖立於1924年所發表，其內容如下：任何系統內不能有兩個相同的粒子佔據在同一組量子數的狀態；這原理對自旋數爲$\frac{1}{2}$的粒子都成立，如電子、質子和中子等被稱爲費子的粒子，他們遵循費米、狄悅克統計律，但對自旋數爲零或整數的粒子如光子及π介子等就不受此原理的限制。

依庖立不相容原理，原來允許在相同軌道上運動的兩個電子，事實上是沿著兩條不同的軌道在運動，如圖4－1所示，此乃因爲電子自轉所造成的磁力以及與軌道運動有關的電力而影響。

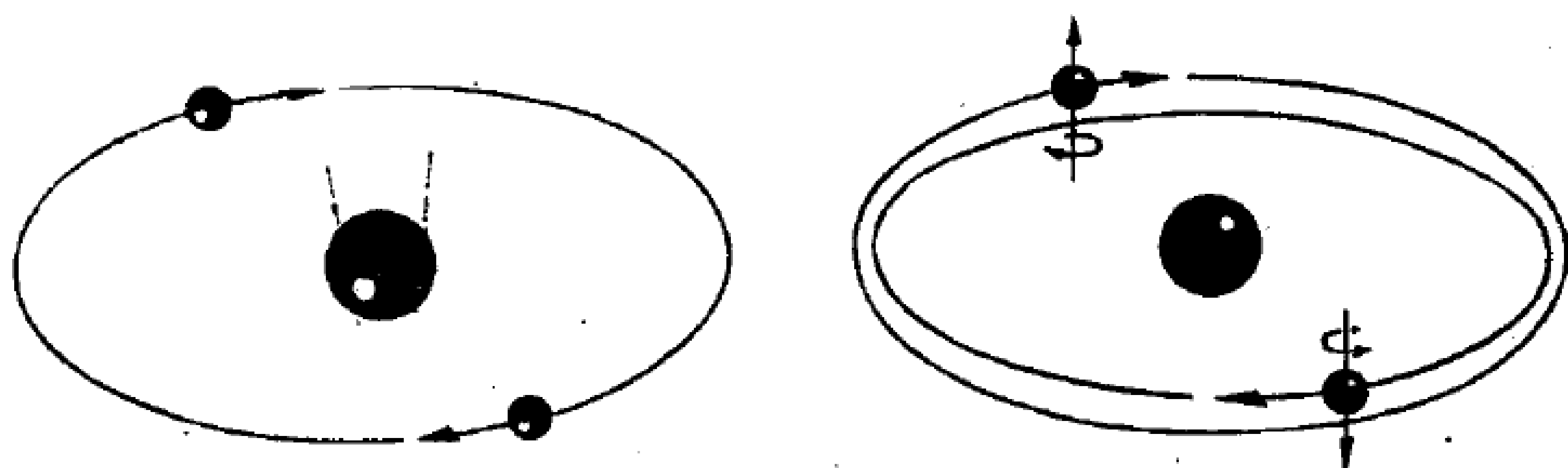


圖4－1

在原子、金屬和原子核等的最新解說上，不相容原理佔著最基本的地位。原子核帶電量爲Z的原子，在中性狀態下外圍有Z個電子，電子

排列的方式是使整個系統能量愈低愈穩定。但所有的電子不能都在最低能階的 $1s$ 軌道，倘如此則所有電子的主量子數、角動量量子數、磁量子數都是一樣，而第四量子數即磁自旋數只能爲 $\pm\frac{1}{2}$ 兩值，所以 $1s$ 軌道允許容納兩個電子。同樣的道理得 $2s$ 軌道的電子數最多爲 2，而 $2p$ 應爲 6，因磁量子數只能是 0、±1 三值。上述的推論就是週期表的解釋。原子核組成方式的主要特徵，也可用類似方法解說。

金屬內電子的分佈情況用同樣的方法描述，可獲得結論以解說古典理論無法解釋的現象。金屬的比熱及磁化率比古典理論的預測值要小，因即使在低溫下，仍有些電子具有相當大的能量，最大值就是費米能量，而易被激發的電子是那些接近費米能量的少數電子。

上述的不相容原理是以舊量子論的術語描述。在量子力學上是以某種條件加諸系統的波函數表示：同種粒子系統的波函數，就任一對粒子的坐標而言是反對稱性的，即兩粒子的位置及自旋方向交換，則波函數會變符號。

現考慮一箱內有兩個不相作用的粒子，則任何允許的波函數應爲類似下述項的和：

$$\Psi=\varphi(x_1)\psi(x_2)-\psi(x_1)\varphi(x_2)$$

式中 φ 和 ψ 表單一粒子的波函數，x_1、x_2 表兩粒子的空間及自旋坐標。x_1 和 x_2 互換改變 Ψ 的符號。當 $x_1=x_2$ 時 $\Psi=0$，所以同一位置上不允許兩粒子具有相同的自旋值。如 φ 和 ψ 相同，即兩粒子在同一狀態時 $\Psi=0$，這就是不相容原理的最初形式。

推廣到多體系統時，以行列式表示不相容原理最方便。三個粒子的系統，其波函數可寫成下式：

$$\Psi=\begin{vmatrix}\varphi(x_1) & \psi(x_1) & \chi(x_1)\\ \varphi(x_2) & \psi(x_2) & \chi(x_2)\\ \varphi(x_3) & \psi(x_3) & \chi(x_3)\end{vmatrix}$$

行列式的兩列互換則符號改變，所以上述波函數具有必需的反對稱性。行列式有任兩行或兩列相同則其值爲零，所以如任兩組的粒子坐標或單粒子波函數相同則$\Psi = 0$。這種表示方法可以推廣到更多粒子的系統。

【不透明電漿】(Opaque plasma)

電磁波無法在其中傳播而僅被吸收或反射的電漿。一般而言，對於頻率在電漿頻率以下的電磁波，電漿是不透明的。電漿在某頻率範圍內是不透明時會改變在該頻率範圍內的輻射性質。在電漿內發射的任何輻射很快被吸收，故在此不透明區域內，電漿只能從其表面輻射。

【不透明體】(Opaque body)

完全不能使光透過之物體。可分下列二種情形討論：

1. 反光體——可使全部或一部分光反射之物（如地球、月球、鏡面、桌面等）。由於物體的表面是由微細粒子所聚集，所以當白色光照到這種表面時，會透過各種途徑進入內部，特定色彩的光被吸收，而只有不被吸收的色光經反射，才會被眼睛看見。這種光的色彩就是該物體表面的色彩。如白色物體就是能把白色光的絕大部分光反射，所以看起來是白色。紅色的物體是只把白色光中的紅色附近的光反射出來，其他的光都吸收進去。藍色的物體則是只把藍色附近的光反射出來，其他的光都吸收進去。此種反射，叫做選擇反射（ *selective reflection* ）。

2. 非反光體——可吸收全部光的物體，如黑色物體就是把白色光的絕大部分光吸收進去，所以看起來爲黑色。

此外，如把紅色單色光照在白色的物體上，則看起來爲紅色，黃色的物體用紅色單色光照射時，則看起來暗黑。

【註】同一物質組成的物體，其透光程度須視其厚度、表面性質及光之顏色等而定。如水本爲透明體，但過深即成暗黑，而不能透視；又如金銀等本不透明，但鎚成薄片，即可透光少許。

【不尋常折射率】(Extraordinary index of refraction)

詳閱"折射率(*Refractive index*)"條。

【不對稱陀螺分子】(Asymmetric top molecules)

分子中三個主軸的慣性矩決定分子轉動結構。三個主軸慣性矩若全相等稱爲球形陀螺；若僅二慣性矩相等稱爲對稱陀螺；若三慣性矩全不相等則爲不對稱陀螺。

【不對稱電位差】(Asymmetry potential)

即電極管內外面的位能差。

【不調射頻放大器】(Untuned R.F. amplifier)

即未調射頻放大器。

【不調幅之等幅波】(Unmodulated keyed continuous wave)

無線電報用，其頻率與振幅均不變，以手鍵控制其短長，作信號之輸送。

【不諧和音】(Dissonant sounds)

兩個或兩個以上的樂音組合後，令人有不和諧、不悅耳的感受。這組樂音就稱不諧和音。

【不黏滯流體】(Inviscid fluid)

黏滯性是流體對所施之力的阻力量度。凡不具此類性質的流體稱爲不黏滯流體。

【不穩定平衡】(Unstable equilibrium)

物體重心位置若很高，則稍微傾斜時，重心即降低，其鉛直線越出底面，故物體倒下如圖4－2中的倒錘體，稱爲不穩定平衡。

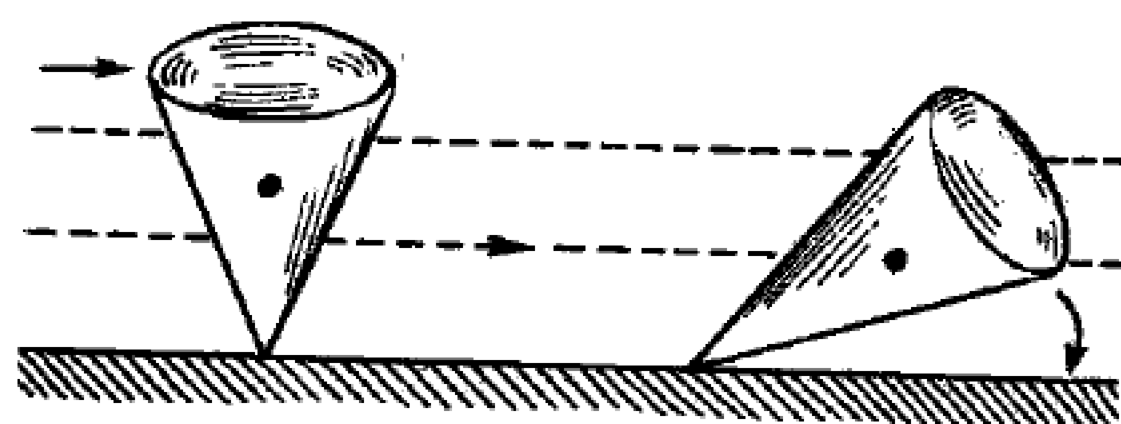


圖4－2　不穩定平衡

參閱"穩定度(*Stability*)"條。

【不穩定同位素】(Unstable isotope)

具不穩定的原子核，能產生放射線之同位素。

參閱“穩定性同位素(*Stable isotope*)”條。

【不穩定原子核】(Unstable atomic nucleus)

能產生放射線之元素的原子核，謂之不穩定原子核。

【不穩電波】(Unsteady wave)

指電波強度或頻率是變動者。

【不變平面】(Invariable plane)

通過整個太陽系重心之平面，它在空間之方向不變。此平面與黃道之交角爲一度三十五分八秒，介於木星和土星軌道面之間，但較近木星之軌道面。

【不變性和變換定律】(Invariance and transformation law)

凡坐標系平移或轉動，則坐標的變換都有其變換定律，這種變換律可以寫爲

$$x'^{i} = \sum_{j} a^{i}_{j} x^{j} + b^{i}$$

經過坐標變換後不變更的性質稱爲不變性，這種不變性可以分成爲量與形式的不變兩種。經過變換後，不改變的物理量如光速、原時等稱爲不變量。另一種不變性是形式上的不變，如物理定律，在一坐標系與另一坐標系所描述的物理定律的形式應該不變，這是相對論基本的相對原理。

自張量(包括純量及向量)的觀點看，坐標的變換如爲

$$x'^{i} = \sum_{j} a^{i}_{j} x^{j}$$

則一 n 秩張量的變換律爲

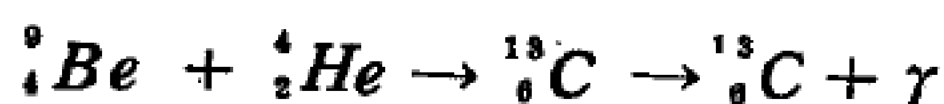
$$T'^{i_1 i_2 \cdots i_n} = \sum_{j_1 j_2 \cdots j_n} a^{i_1}_{j_1} a^{i_2}_{j_2} \cdots a^{i_n}_{j_n} T^{j_1 j_2 \cdots j_n}$$

在一坐標內，由張量方程式所描述的物理定律，經過變換後至另一坐標

系，則其張量方程式的形式應不變，即物理定律所描述的語言應該相同。

【中子】(Neutron)

在 1930 年，波特 (*Bothe*) 和貝克 (*Becker*) 以 α 粒子轟擊鈹時，觀測到有穿透力極強的輻射產生，這種輻射不受電場和磁場的影響，故不是由帶電粒子所組成的，因而他們認為這是高能量的 γ 射線，其反應可被寫為



$$^{9}_{4}Be + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{13}_{6}C \rightarrow ^{13}_{6}C + \gamma$$

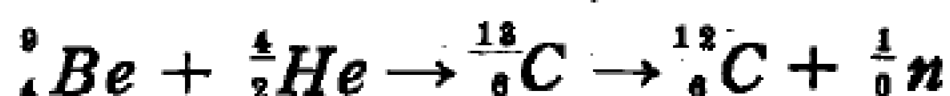
此反應的 Q 值是 10.4 MeV，因 α 粒子的動能約為 5 MeV，在質心坐標系中，可用的總能量為 14 MeV，由 C 核和 γ 光子分享此能量，故光子的能量應稍小於 14 MeV，實驗測得光子能量約為 7 MeV。兩年後居里－郁利奧夫婦 (*Curie-Joliot*) 觀察上述反應的輻射通過含氫物質時，產生高能量 (最大約為 7.5 MeV) 的質子。假設光子將質子撞出，在正面相碰時撞出的質子能量最大，此時光子反跳，即偏轉 180°。若入射光子的能量和動量各為 T_γ 和 $p_\gamma = T_\gamma / c$，反彈時為 T_γ' 和 $p_\gamma' = T_\gamma'/c$，質子的動能和動量各為 T_k 和 $p = \sqrt{2m_p T_k}$，由能量和動量守恆 (不以相對論處理)，得

$$T_\gamma = T_\gamma' + T_k \qquad \frac{T_\gamma}{c} = -\frac{T_\gamma'}{c} + \sqrt{2m_p T_k}$$

得 $$T_\gamma = \frac{1}{2}\left(T_k + \sqrt{2(m_p c^2) T_k} \right) \approx 64\,MeV$$

計算時 $T_k \approx 7.5\,MeV$，$m_p \approx 938\,MeV$。T_γ 比 14 MeV 大得太多，故鈹－9 (α, γ) 碳－13 反應不符能量和動量守恆原理。

在 1936 年英國物理學家查兌克 (*J. Chadwick*) 以實驗證明輻射物不是 γ 射線，而是質量近似質子的中性粒子，叫做中子，因而解決上述的矛盾，其反應為



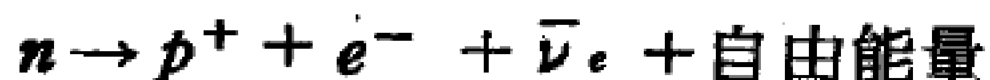
$$^{9}_{4}Be + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{13}_{6}C \rightarrow ^{12}_{6}C + ^{1}_{0}n$$

查兌克使中子射入含有氫或氮的物質，仔細量度撞出之質子或氮原子的動能，而算出中子的質量在 1.005 與 1.008 *amu* 之間，才能使上述反應的能量和動量守恆，現在精確量得 m_n = 1.008665 *amu* 。另一方面，由於中子的發現，使核子數的守恆也成立。

中子爲一種不帶電的基本粒子，以 $^{1}_{0}n$ 表之。1953 年霍夫士塔脫 (*Hofstadter*) 等用線型加速器加速的數百 *MeV* 的電子打擊氫及重氫，由其散射硏究，知道質子及中子都有一定的大小，其半徑約爲 0.8 $\times 10^{-13}$ *cm*，中子質量約爲電子之1,850倍。在所有比氫原子重的原子中都能發現的不帶電的基本粒子。中子在一些核子反應 (*nuclear reaction*) 中被核子放射出來。這些反應包括：核分裂 (*nuclear fission*) 及核熔合 (*nuclear fusion*)。這樣放射出來的中子是不穩定的，但有高度的穿透力，能再參與其他的核反應，分裂的鏈反應因此得以維持。由中子本身能量，我們可概分爲低能量的慢中子及高能量的快中子。

因中子不帶電，故呈中性，而在電場或磁場中，俱無偏折現象，亦無使氣體游離之性質，在雲霧室 (*cloud chamber*) 中無法看到其行進之軌跡，故無法以檢視電子或質子之方法檢視中子。又因其不帶電性，不受電磁場之影響，能自由進入核電場內，故穿透力特強。

中子還有一個特性，完全游離的中子，是不穩定的；可是它的半衰期非常之長，約爲一千秒鐘。然後，它會衰變成爲一個電子、一個質子和一個反微子。



$$n \rightarrow p^{+} + e^{-} + \bar{\nu}_e + \text{自由能量}$$

然而，在大多數的原子核內，中子是穩定的，這完全是一個能量的問題。在原子核內，中子受其他力的作用，因而衰變後的能量，反而要增加，在這個情況之下，中子自然就會穩定了。

中子在非增殖物質中的擴散，所謂非增殖物質，即僅吸收而不產生中子的物質如水或石墨者。例如，在核反應器中的熱柱就符合此種情形（由於鈾分裂的結果核反應器乃爲一強中子源）。由大量水或石墨所組成的熱柱，毗連於反核應器的一側。在核反應器內產生的中子沿熱柱而擴散，此諸中子可用來進行許多實驗。此柱之所以稱爲熱柱，因出現於柱中的中子與構成柱物質中的原子達到熱平衡之故。

熱柱之物理上的安排如圖4—3所示，從反應器核心中出來的中子，由左端穿過熱柱，沿柱而擴散，經由S而逃逸。在擴散過程中，中子與熱柱物質中之原子發生碰撞。在某種情況下，碰撞的結果，中子被熱柱物質之原子所捕獲。若無中子被熱柱物質所捕獲，當在穩定狀態時，中子濃度線性地下降。此種情形由圖4—3中虛線指出。虛線的斜率取決於由反應器進入熱柱與由S處離開熱柱之中子率而定。然而，當在有中子被捕獲的情況時，中子濃度則依據圖中實線所示者而變。接近核反應器末端之中子濃度下降得較快，此由於中子濃度愈大，則被熱柱物質捕獲率亦愈大之故。

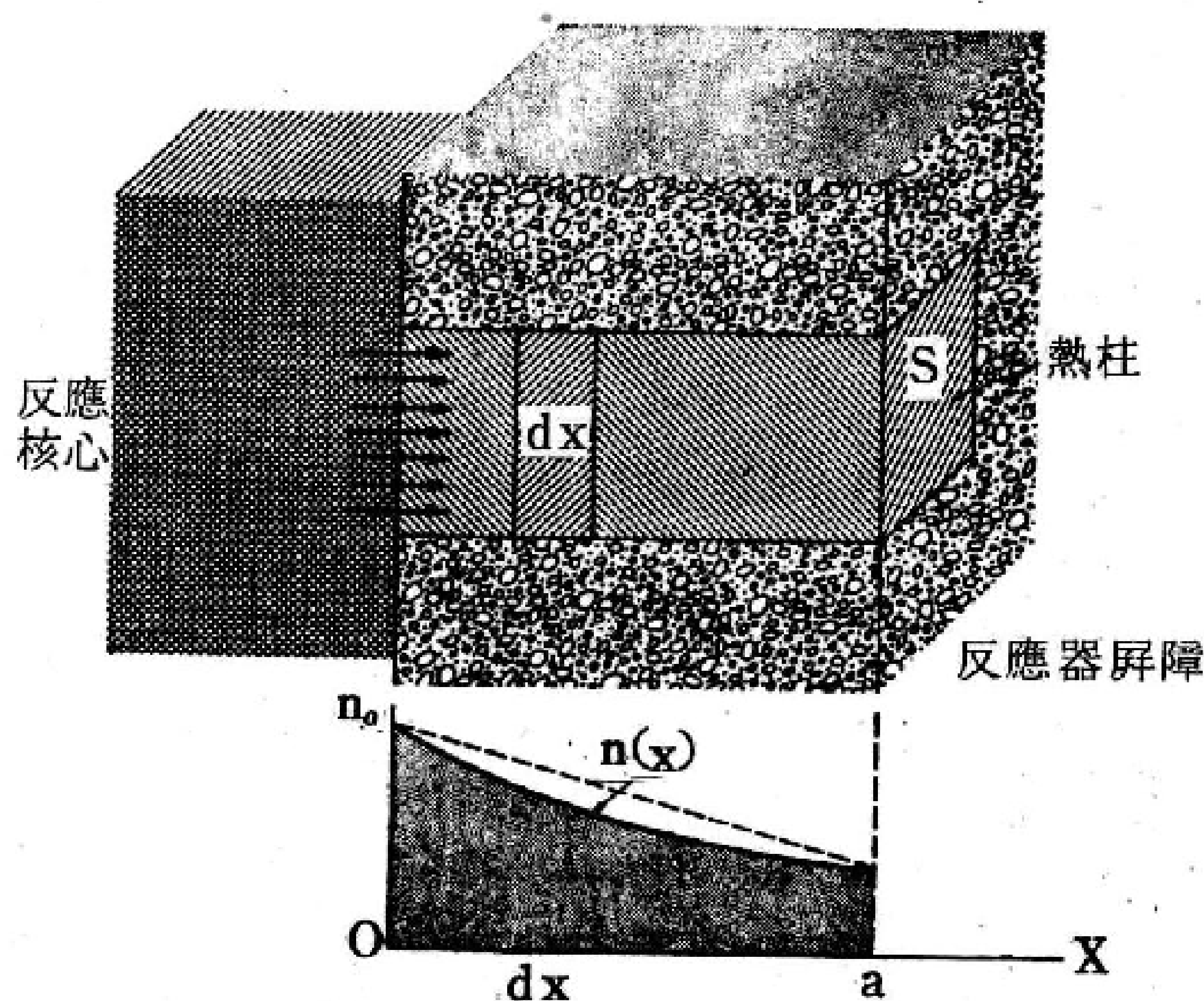


圖4—3

近年來由於核子反應器的發展，科學家們有強度甚大的中子束（*neutron beam*）可資利用。中子有如X射線、電子或其他的粒子，亦具有波動性質。例如它可被晶體所繞射，而用以探測晶體內的原子位置

。如欲測定的晶體性質與原子的振動程度有關，則用中子較X射線更佳，是因中子如小磁石般具有磁性，因此由中子的繞射可鑑別出原子是否具有磁性，利用中子的繞射現象，物理學家遂得知某些晶體內原子的磁化方向平行，而某些晶體內其相鄰原子的磁化方向適相反。

反應器是中子最主要的來源。但少量的中子也可以用其他方法得到。例如用α粒子撞擊鈹原子核，或用高能量的γ射線也可以，其反應可生一中子。稱做"α, n"反應，及"γ, n"反應。如果重氫或氘被足夠能量的粒子所撞擊的話也能產生中子。

【中子反射】(Neutron reflection)

當中子射入物體中後，經過一連串碰撞，一些中子將會散射而回到進入之地方，此種"回散射"(*back scattering*)等於散佈反射，任何具有低中子入射截面積者皆能被用爲中子反射器。

【中子反應器】(Neutron reactor)

詳閱"熱反應器 (*Thermal reactor*)"條。

【中子分裂反應環】(Neutron cycle)

詳閱"中子平衡 (*Neutron balance*)"條。

【中子分裂產額】(Neutron yield per fission)

每次核分裂時所放出的中子可能爲0、1、2、3、4或5個。圖4—4表示鈾－235以熱中子引發分裂時放出中子數目的分佈情形。由圖4—4可知每次分裂時所放出的瞬發中子最可能在兩個至三個之間，其平均值爲2.432 ± 0.08個。注意此平均值乃隨不同的分裂

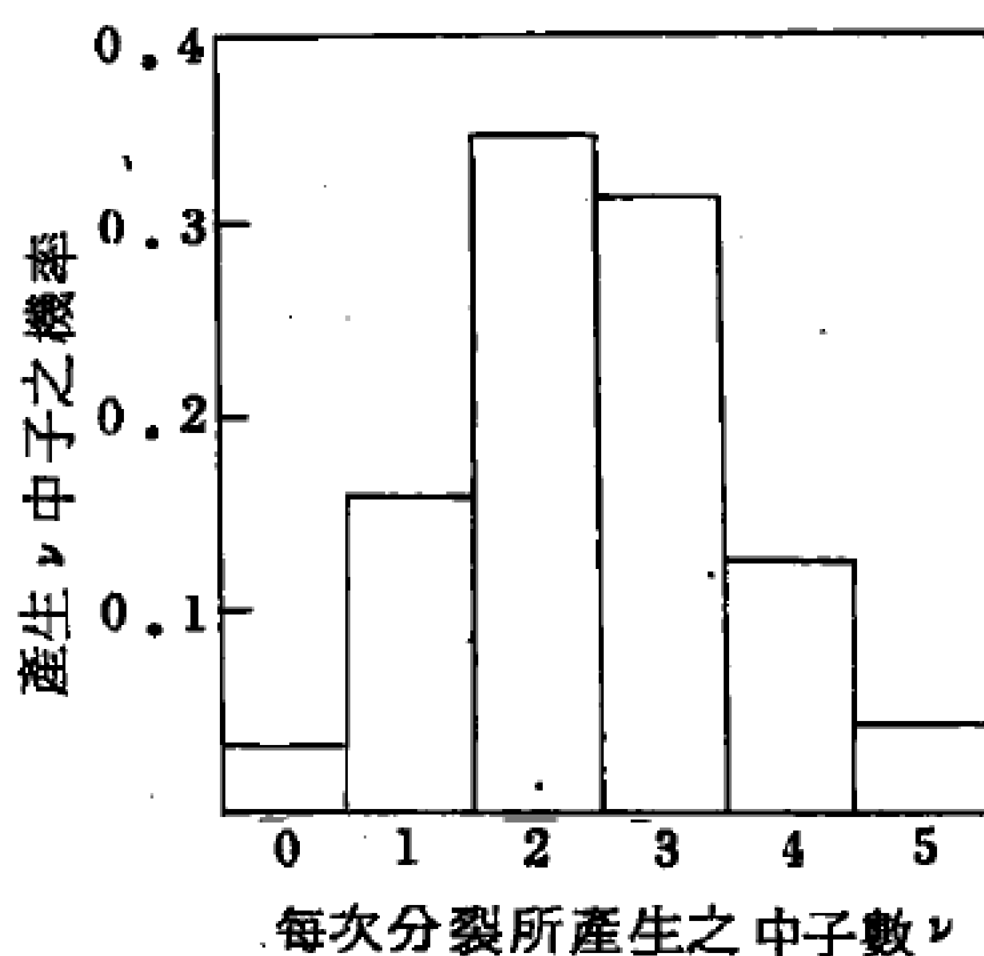


圖4—4　分裂中子之分佈情形

物質及引發分裂的中子的不同能量而有很大的差異。如以 14 MeV的中子引發鈾 - 235 分裂時所放出之中子數目平均達 4.4 個。

除了大部分的中子在分裂的當時即時放出外，尚有少部分遲緩放出，乃由部分分裂產物（如鉬 - 87、碘 - 137 等）經貝他衰變後達一受激態，其高於基態的能量大於該核最後一個中子的結合能，則有放出中子的可能。此類中子可依其放出的先後而分為六組，如下表所示：

組別	半衰期	所佔全部分裂中子的成分（%）		
	$\tau_{1/2}$（秒）	鈾 - 235	鈽 - 239	鈾 - 233
1	55.6	0.052±0.005	0.021±0.006	0.057±0.003
2	22.0	0.346±0.018	0.182±0.023	0.197±0.009
3	6.0	0.310±0.036	0.129±0.030	0.166±0.027
4	2.3	0.624±0.026	0.199±0.022	0.184±0.016
5	0.61	0.182±0.015	0.052±0.018	0.034±0.016
6	0.25	0.066±0.008	0.027±0.010	0.022±0.009

此類緩發中子，雖然其所佔成分甚少，然對反應器的控制，有決定性之影響。

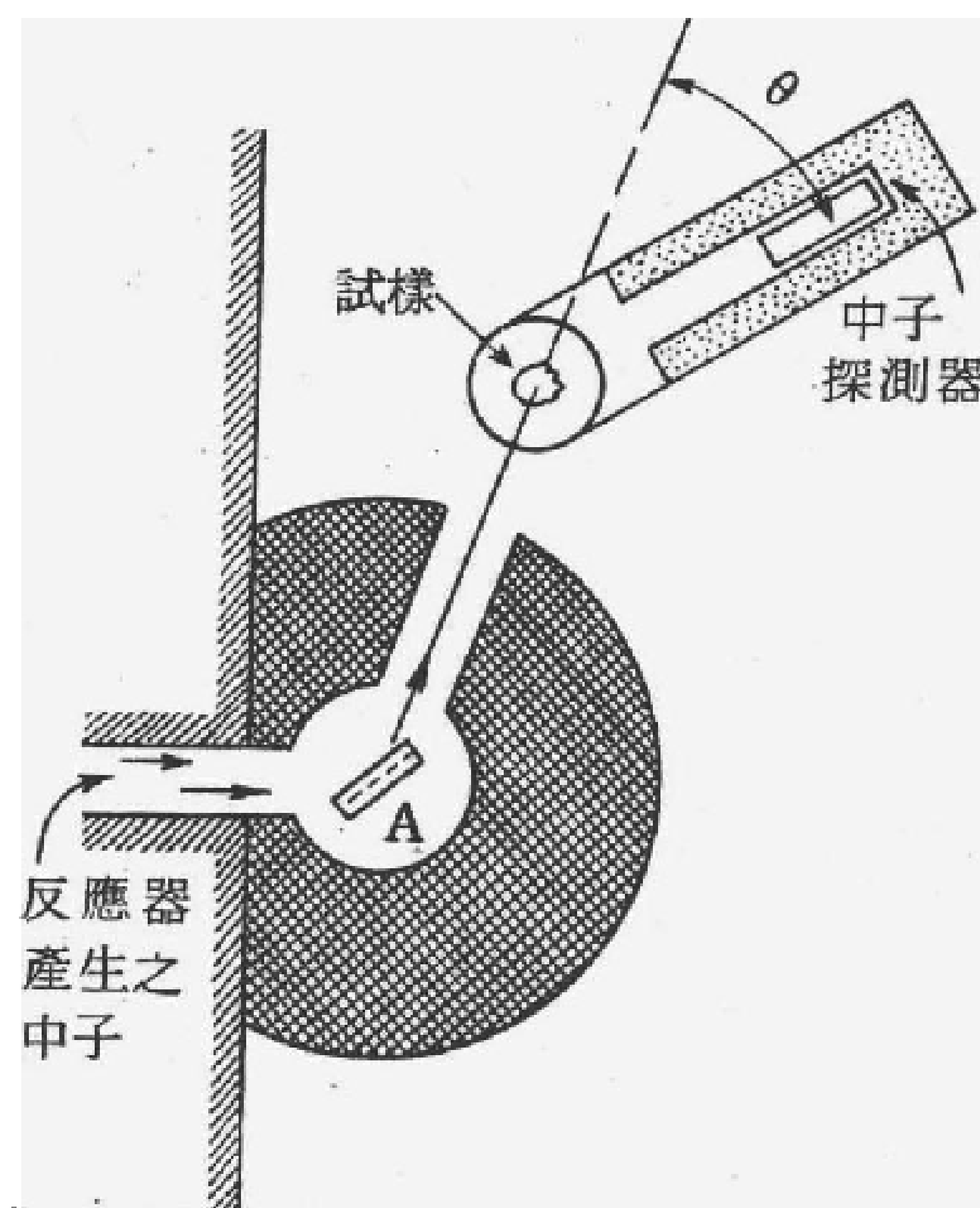
【中子之遏止】（Stopping of neutrons）

中子通過物質時，因中子不帶電，在物質中不與受原子束縛的電子或原子核的庫倫電場作用而產生游離。中子與物質的作用為與原子核的彈性散射、非彈性散射及原子核反應等。在此過程中，中子逐漸失去能量而被遏止。例如利用如石臘等含氫量大的物質，可使高速中子因彈性碰撞而減速。又如利用鋰（^{6}Li）或硼（^{10}B）等與中子引起原子核反應截面積大的物質，可使中子能量因原子核反應，轉換為帶電粒子的能量，而本身被物質吸收。

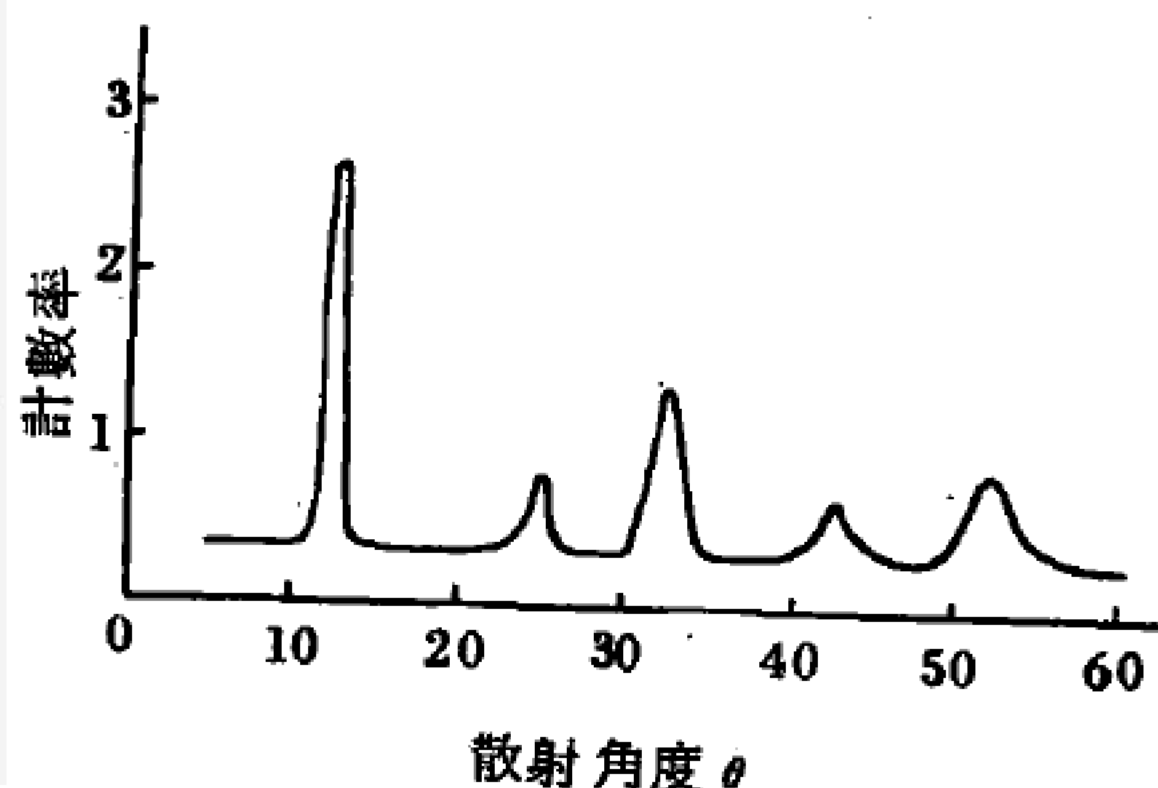
【中子之繞射】（Diffraction of neutrons）

中子的繞射裝置如圖 4 — 5(*a*)所示。反應器所生之中子在 A 處為一

晶體所散射，波長適當的中子則被反射而擊中試樣（ *specimen* ）。從已知的中子束波長，即可測量出試樣內原子間的距離，中子探測器（*neutron detector* ）則沿一弧線移動，逐點記錄其測量結果。圖 4 — 5 (*b*)所示即為一個典型的實驗結果，圖中每個高峯即顯示試樣內某一原子面間的距離，晶體的結構即由此類實驗而探知。



(a)中子繞射儀器略圖



(b)探測器的計數率與散射角度 θ 的標繪圖

圖 4 — 5

由中子或X射線繞射而決定的晶體結構，係指原子的平均位置而言。如能將原子位置以快照攝出，則由於原子在不停地來回振動，其顯示的位置將在其平均位置附近。

中子既為核反應之產物，故現今實驗室中所需之中子均為利用α粒子或其他粒子撞擊某種元素之原子核，使其發生人為蛻變（*artificial disintegration* ）而放出。

【中子平均自由路程】（ **Mean free path of neutrons** ）

設一平行單一能量的中子射束，其強度為 I（ I 為單位時間內通過與中子運動方向垂直之單位面積上的中子數目），射入一含N中子／立方厘米的物質中，則在單位時間內在 dx 長度內發生作用的數目（發生

散射或吸收等作用）可表爲

$$\nu = -dI = I \cdot N \cdot \sigma \cdot dx = I \cdot \Sigma \cdot dx$$（式中 σ 爲截面）

即發生作用的數目等於中子射束強度減少 dI，由此得

$$I = I_0 e^{-\Sigma x}$$

I_0 爲 $x = 0$ 時中子射束強度。兩次作用之間的平均距離稱之爲平均自由路程 λ，即

$$\lambda = \frac{\int_0^\infty x\,dI}{I_0} = \frac{\int_0^\infty x\,I_0 e^{-\Sigma x}\,\Sigma\,dx}{I_0} = \frac{1}{\Sigma}$$（厘米）

我們可稱散射作用的平均自由路程 $\lambda_s = \frac{1}{\Sigma_s}$ 及吸收作用的平均自由路程 $\lambda_a = \frac{1}{\Sigma_a}$。

【中子平衡】（Neutron balance）

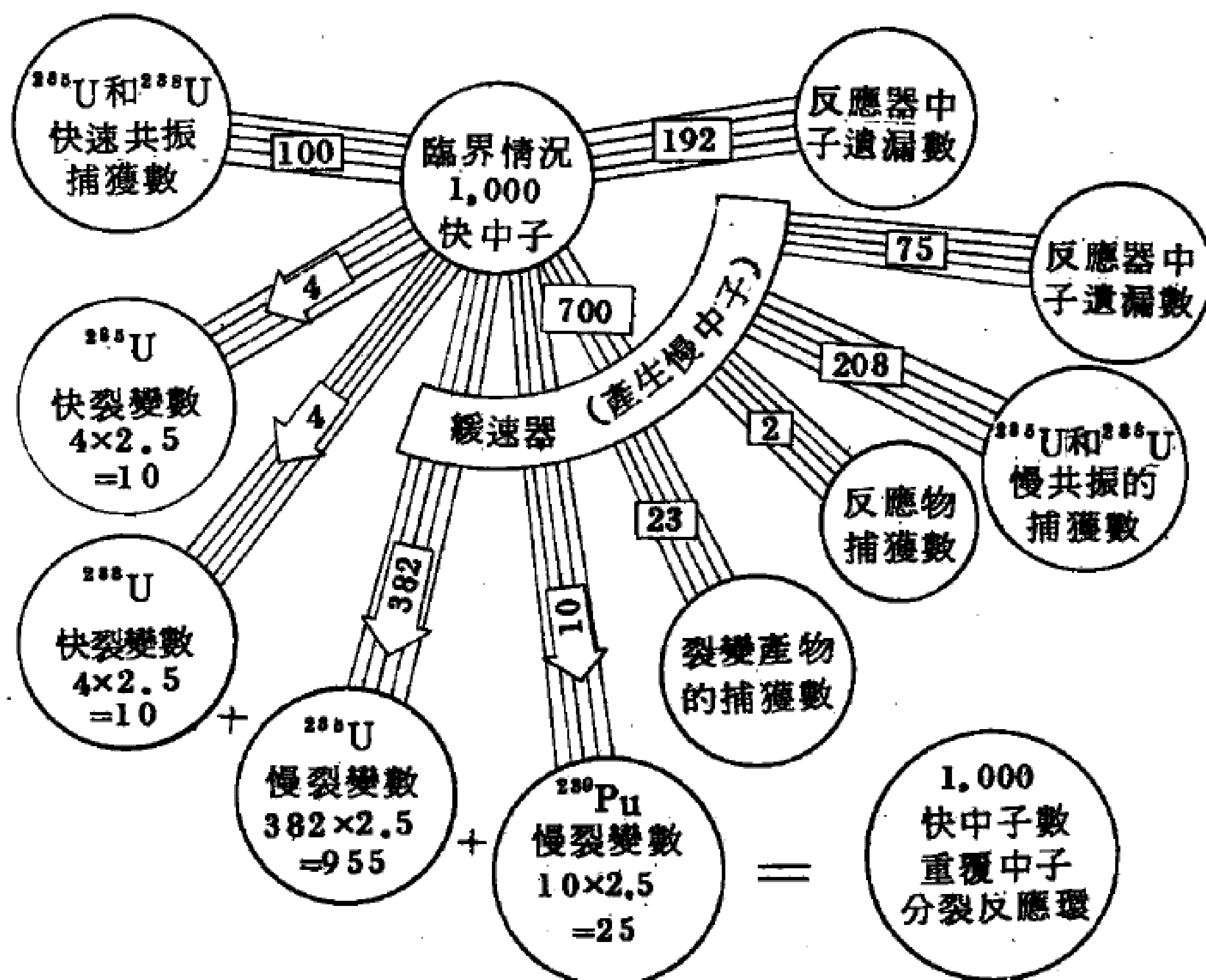


圖 4－6　中子平衡在自然鈾反應器的臨界狀態

用統計學的眼光，每1,000個快中子如圖4－6所示，平均大約有192個遺漏，700個轉成慢中子，4個和鈾－238 發生作用，4個和鈾－235發生作用，100個和鈾－235及鈾-238的共振態發生作用。而那些慢中子中有75個遺漏，208個鈾－235和鈾-238共振態起作用。2個被反應物捕獲，23個被裂變物捕獲，10個和鈽－239發生反應，382個和鈾－235慢分裂發生作用。

【中子吸收劑】(Neutron absorbent)

具有高中子吸收截面的物質，當它吸收中子後不再放出中子，因此這種中子吸收劑會減少分裂鏈反應中的中子，減低了反應率，又稱中子毒物(*poison*)。

如水銀，沸點357°C (675°F)，可使反應器在目前技術所能達到的範疇內工作。在反應器內使水銀沸騰的唯一困擾是，它有吸收中子的特性。水銀是中子毒物，它對中子而言，甚不經濟。進步的動力廠，選用對中子親和力較小，而沸點760°C (1,400°F) 的鉀來代替。鉀比水銀的沸點高出403°C (725°F)，意即在燃料、渦輪、輸送管及散熱器內會產生更高的溫度。隨著性能優越物質的發展，鉀沸騰式動力廠變成有可能性，而且將在太空用途上，提出更有效的動力產生器。

【中子放射攝影】(Neutron radiography)

自從X光線的透視攝影技術於1895年發明後，我們便可觀察到許多物體的內在本質。但是X光線並不能映出每一樣東西。在不斷發展下，終於產生了一種新技術，名為“中子放射攝影”，能夠“看”到X光線所無法看到的一切。美國“通用電氣公司”為了要徹底觀察一切工業產品的內部結構，曾試驗這種發明技術(圖4－7)。這種中子攝影設備，長約八公尺，寬約九公尺，裏面分為三個部分：最大的部分放置核子反應器，用以產生中子；另一個部分放置用於攝影的放射設備；第三個部分是控制部。在進行拍攝時，從反應器內發射出強烈的中子射線

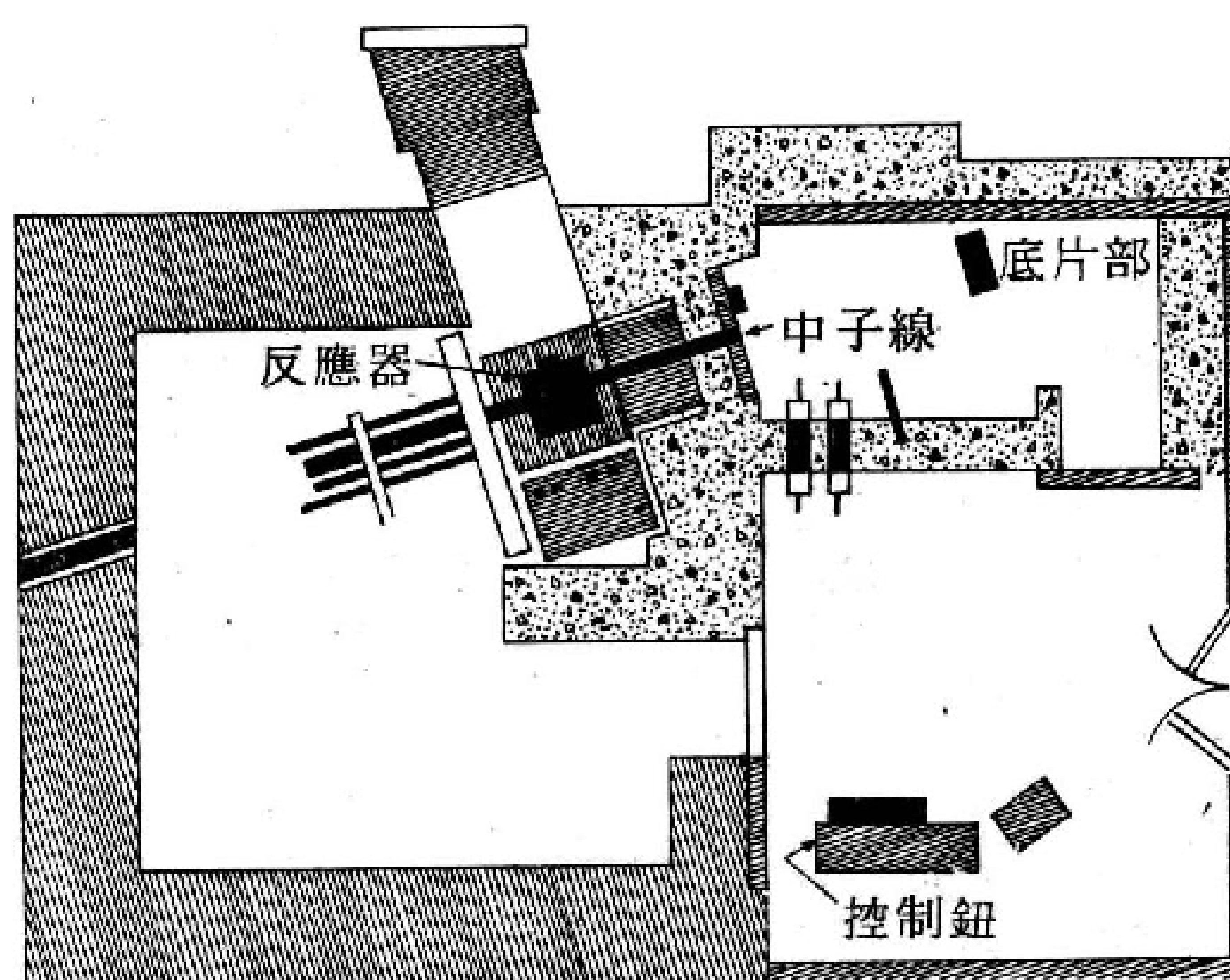


圖 4 — 7　通用電氣公司的中子攝影設備圖解

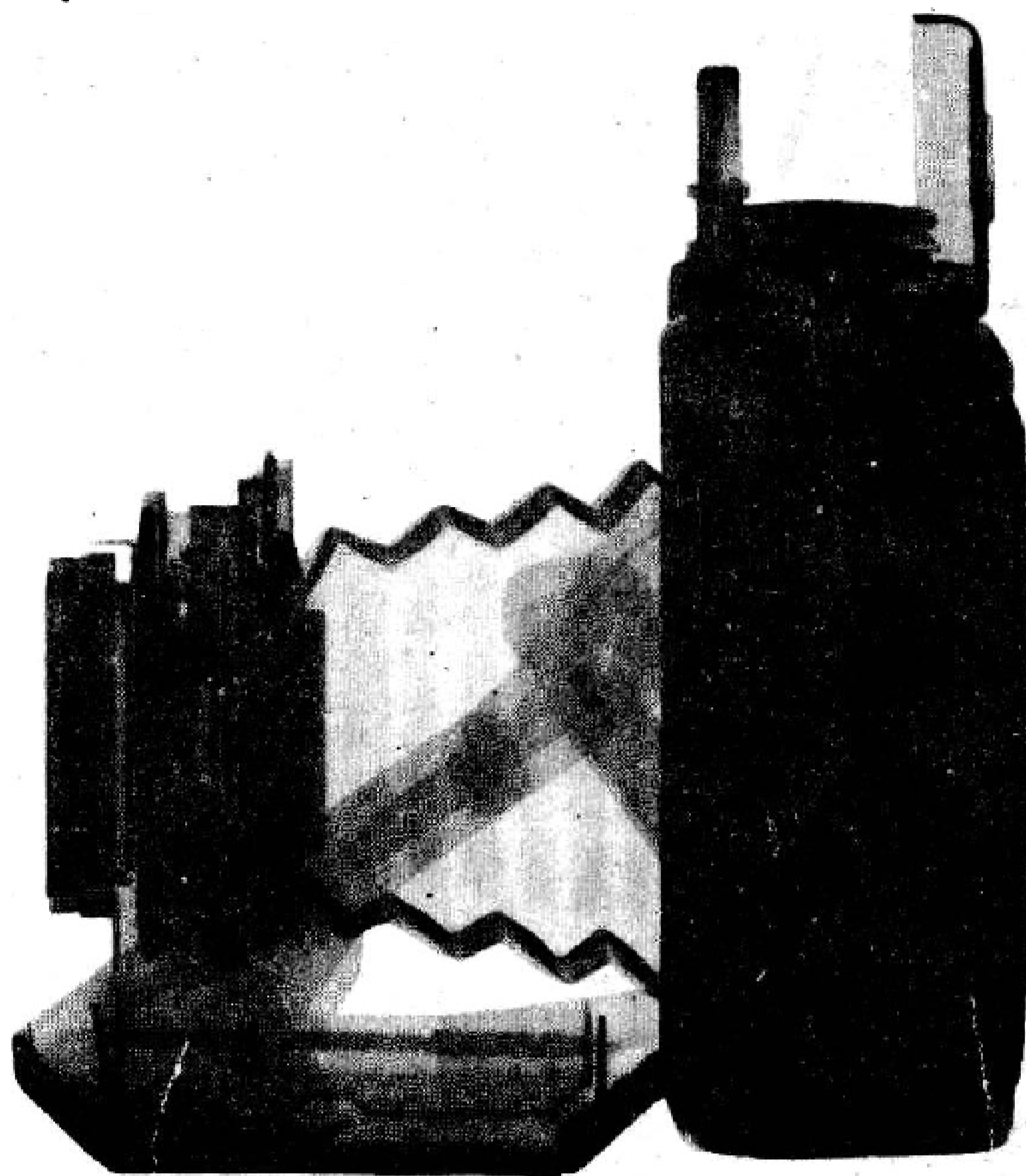


圖 4 — 8

用中子攝影拍攝之一具普通攝影機的內部結構

，穿過物體的外壁，把物體的內部構造拍攝在底片上。（圖4—8、9、10所示）。

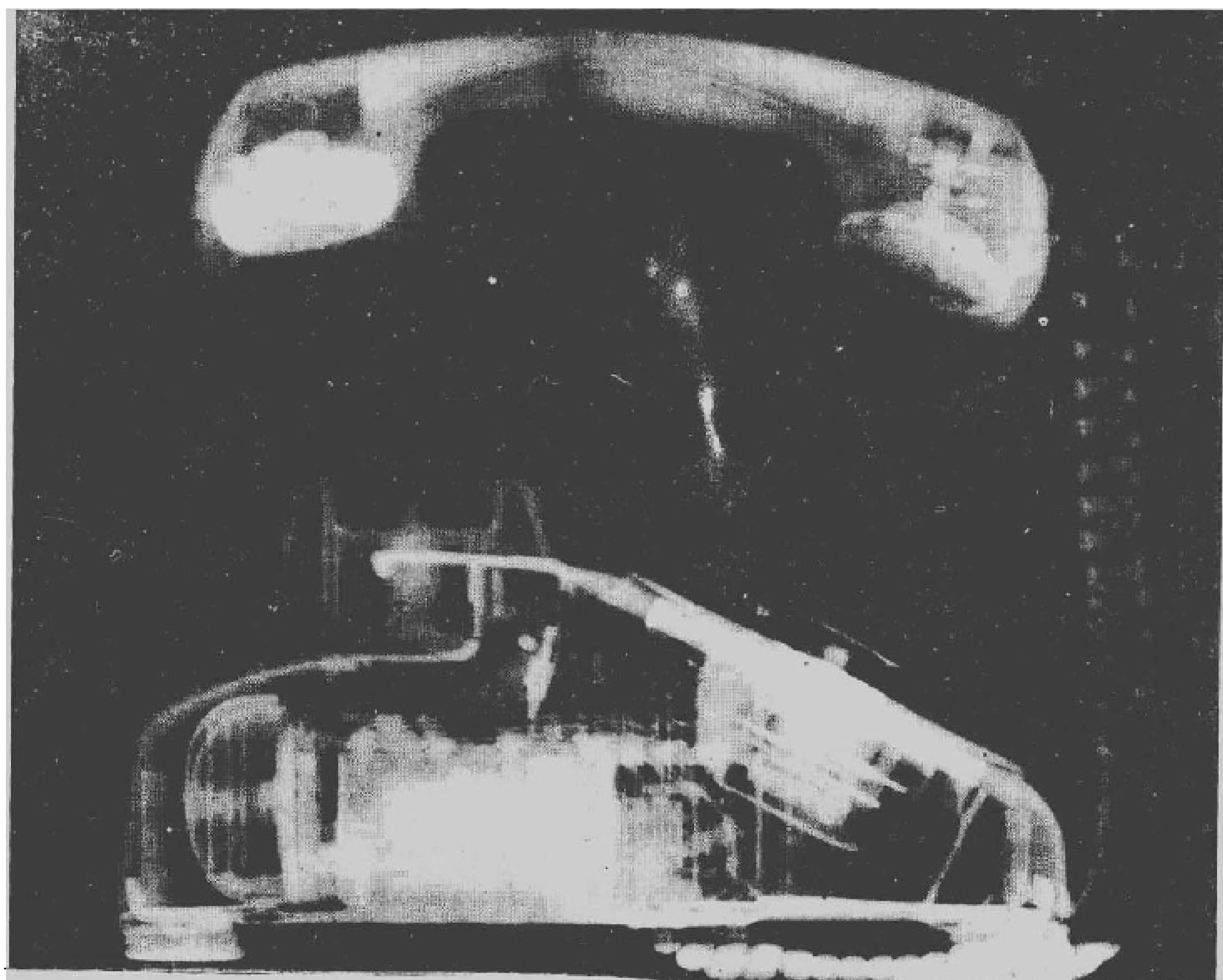
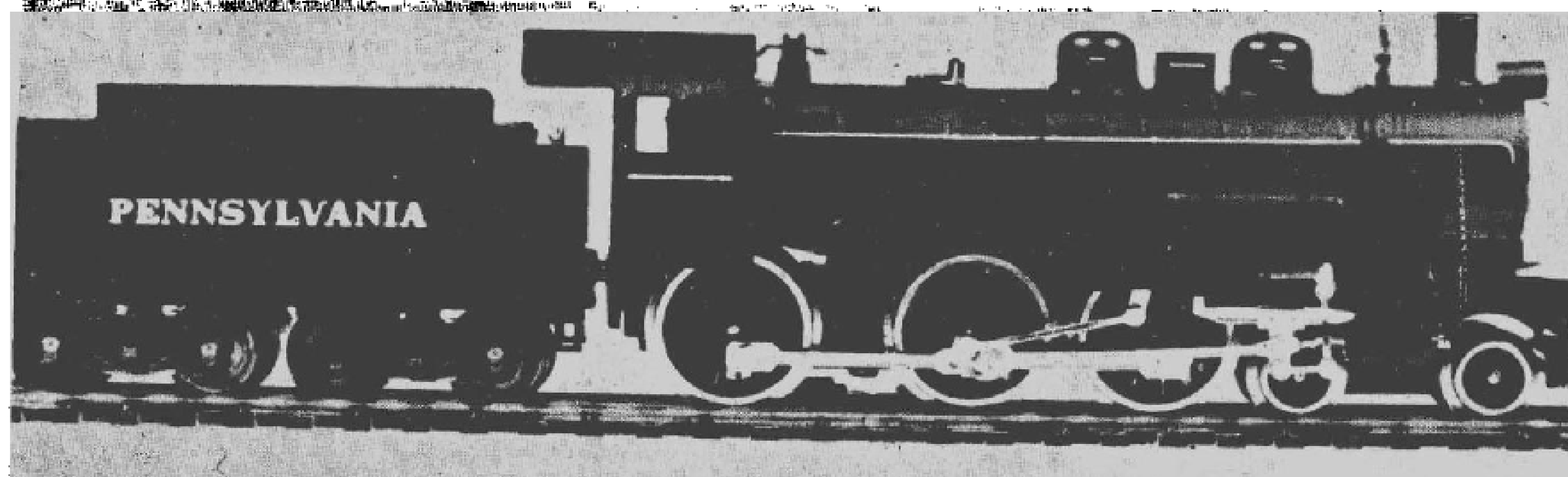
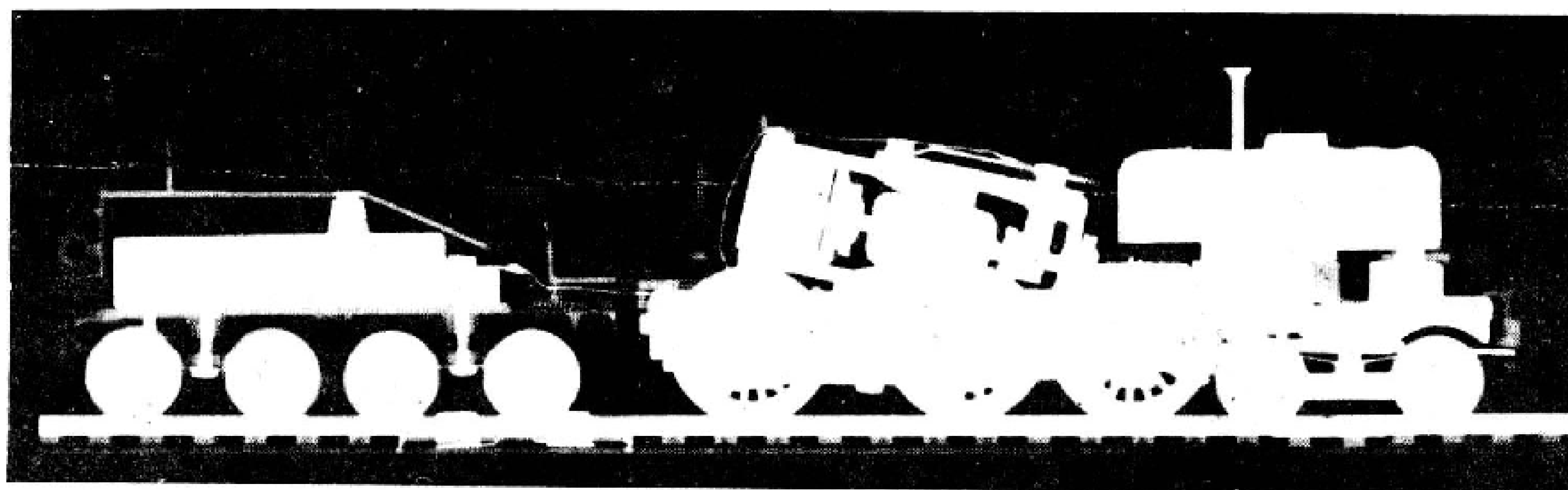


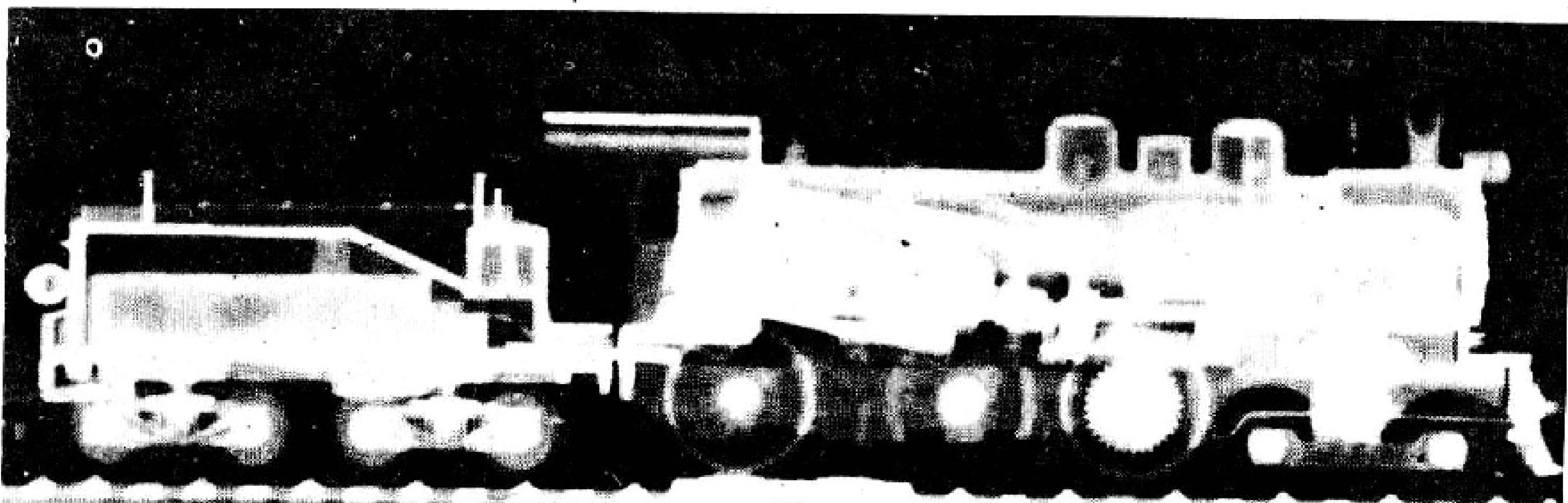
圖4—9　中子攝影照片中看到的一架電話之內部構造



(a)用普通攝影機拍攝的模型火車



(b) 用 x 光線拍攝的模型火車



(c) 用中子放射攝影機拍攝的模型火車

圖 4 —10

【中子星】(Neutron star)

中子星之密度爲一般星球之 10^{14} 倍，白矮星的 10^{6} 倍，其半徑是一般星球的 $\sqrt[3]{10^{14}}$ 之一，大約在十公里左右，假若磁力線在形成中子星的凝聚過程中不消失的話，磁強和半徑之平方成反比，中子星表面的磁場強度應在 10^{10} 到 10^{12} 高斯之間。它的溫度平均在 10^{8} °K 左右，表面溫度則 10^{6} °K ，因此大多數輻射波的能量應在 X 光的波長範圍內。

參看圖 4 — 11 中子星的橫切面從表面往裏走，在一公尺內，密度

由零急速增至每立方公分 10^8 克。再往內1公里左右，密度更高（每立方公分介於 10^8 克與 10^{14} 克之間），其中的原子核含有豐富的中子。在這個區域內，最穩定的典型原子序在42附近（鉬），接近核心時可以高達140（比地球上所能造出來的元素還要重）。在這種星球的溫

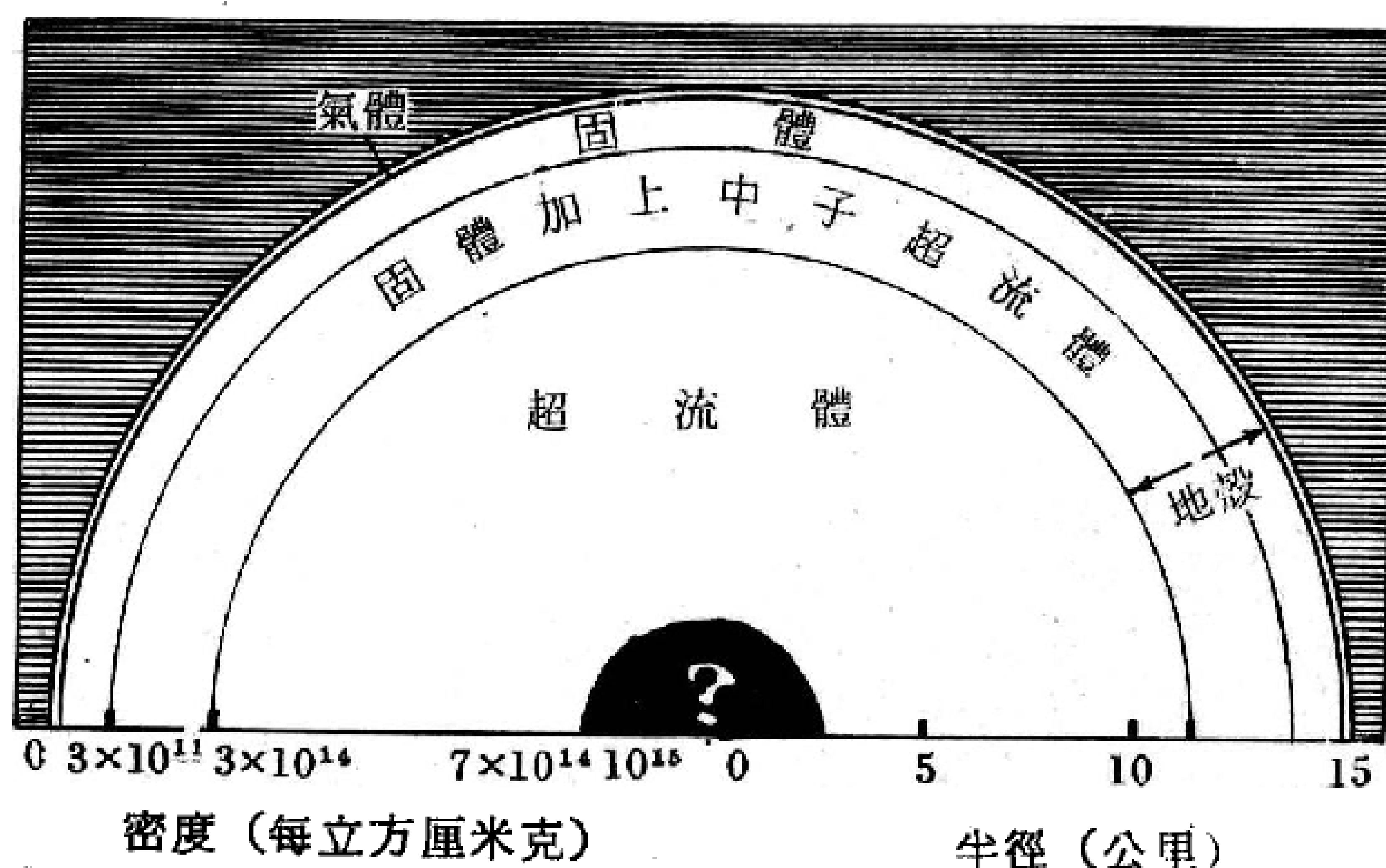


圖4—11 中子星的橫切面

中子星的橫切面顯示，核心是像謎一般的物質，往外是一層超流體，再外面是固態層殼，最外面是一層數公尺的氣體。核心可以假定由中子、質子、介子與奇異的重粒子所組成，構成一個奇特的混合物。超流體主要的是由沒有黏滯性的中子所組成，其性質就像液態氦（^3He）接近絕對零度時的行爲。中子星還有一個強磁場，是地磁的億億倍。波霎被認爲是中子星，因爲它會週期地放射出無線電波。

度下，原子核會排列在剛性的結晶格子上。結晶格子的熔點可以超過一百億度，比中子星的可能溫度高出兩個數量級（即一百倍）。不管星球形成時，溫度有多高，微中子輻射不出幾年就把它降低到幾億度。所以，除了表面一公尺左右的薄皮，星球的外部構造是由原子核依幾何排列而成的剛體。這個結晶層殼的剛性比普通鋼高出 10^{18} 倍，不可壓縮性則高出 10^{20} 倍。就像膠凍一般，也許還會跳，要壓縮它可沒有那麼簡單。這個星球表殼，由於電子有極高的簡併能量，它的導電性比銅高

10^5倍。它也非常純，因爲原子核中的電荷與中子數很快地就被附近的電子與中子所改變。

在最輕的中子星裏，上面所說的層殼幾達中心。在大多數的中子星來說，層殼只在表面下數公里。層殼以下，主要成分是中子流體。中子流體內沒有原子核，所剩下的質子與電子也以流體的形式，穿織於中子海。這裏的中子海可能是超流體，它的性質與^3He冷近絕對零度時可能的表現相同。其性質是沒有黏滯性（燒杯內的超流體會自動地爬出杯外）而且導熱能力比銅銀都要來得快。實驗室裏，還不能將液態氦（^3He）冷卻到夠低的溫度，以表現中子星核心的物質狀態（在那裏溫度是一億度）。

核心中的質子與中子比起來，所佔比例很小，這些質子也可能形成超流體。由於質子帶電，所以質子超流體是一種超導體，可以無限制地維持著電流與磁場。在超流體的"中子質子海"裏，只有電子的行爲與它在正常物質內所表現的相同。不過，它們的簡併能量很大，速度約爲光速的百分之99.99，換言之，它們的動能幾乎是靜質能（*rest-mass energy*）的一百倍。

中子星的中心附近，密度可以高達每立方公分10^{15}克。由於中子與電子的能量很大，就像在最大加速器裏所發生的情形一樣，它們會轉變成重子（*baryons*）與介子等基本粒子。在地球上的環境下，這些粒子的壽命不到百萬分之一秒，但在中子星的超密中心裏，它們卻相當穩定。轉變而成的基本粒子與中子、質子、電子共存於中子星，形成一種奇特的流體，目前尙無足夠的實驗數據也沒有理論爲它設計一個數量上的模型。在中子星的核心內所發生的現象，可以說完全超出我們的經驗範圍。

中子星以波霎表現出來，每秒旋轉高達30次，我們可以計算中子星表面的磁場，它可能是地球磁場的億億倍。內部流體的旋轉可能比外殼快一點點。雖然層殼的自轉漸漸在減速，但減速的"消息"卻很慢才

傳遞到裏面的超流體，因爲內部的旋轉根本沒有受到摩擦力。這種旋轉體表現出許多可能的現象與可觀測的行爲，可以幫助我們檢驗目前我們對中子星的觀念是否正確（即將中子星視爲波霎）。

有充分的證據可以證明，波霎所發出的無線電脈波，它們很有規律的時間間隔正是中子星旋轉一周所需的時間。以目前的量時精確度，轉速只要十億分之一的突然變化，我們就可測出。即使在中子星殼上只有一點小變形，它發射脈波的頻率也會受到很大的影響。

由於中子星的層殼相當堅硬，它的形狀與在重力吸引下的旋轉氣狀流體的形狀有些不同。可以假定星球形成不久，層殼就凝固了，那個時候的旋轉率近於極大。旋轉率減小時，離心力也減小，因此會使星球的形狀比原來更接近球形。不過這個剛性層殼卻不允許這種形狀上的調整。要估計到底這個層殼可以承受多大的應力而不破裂是很困難的事情。

中子星的表面，其地勢的最大變化，可能介於百分之一厘米到一厘米之間。換言之，中子星巨大無比的重力吸引（表面上的重力吸引一千億倍於地球表面的重力吸引），很有效地使星球形狀，很接近於球形。結果是：中子星上的山脈不會超過幾厘米，即使有也很快地熔化掉。在波霎上面，要攀登一厘米高的“埃佛勒斯”峯，需要花去一生精力的一百倍。雖然層殼上僅能承受這樣小的幾何變形，但是這種小變形的一些效應卻可以被觀測到。

產生星震（ *star-quake* ）的應變累積起來，會使層殼破裂。假如表面的地勢變化超過了百分之二、三厘米，這個變動的現象就可以明確地被測出。由於角動量須要守恆，上述地勢的小變化會使轉速也引起小變化。兩個年輕而快速旋轉的中子星，曾被發現它們的脈波週期有小而突然的增加，一個在蟹形雲氣的中心，另一個則在船帆（ *Vela* ）星座的超新星餘燼裏。假使將這些轉速的變化解釋作星震，那麼蟹波霎的地勢變動相當於1厘米，而船帆波霎則相當於百分之一厘米。雖然其他的解

釋照樣說得通，至少這些事件的發生，可能意味著中子星地震學已經開始萌芽。

如果中子星周圍眞的覆蓋著厚而堅硬的層殼，波霎的行爲應該有相當可觀測的效應，它要比可能產生的星震來得微妙。來自波霎的無線電訊號，幾乎可以確定是隨著中子星旋轉的磁場所產生，只是它的過程我們還不清楚。因爲磁場與星球的外圍物質盤根錯結，於是感受到力矩的作用而漸漸使轉速減低。磁場穿過中子星的鋼性層殼而且固結在上面（其他的星球沒有中子星那樣緊密，它的外層是氣狀流體），這個事實與波霎精確的週期有密切的關係。在中子星的表面上，磁場不能像太陽黑子一般的漂動，所以旋轉了數千萬周之後，磁場與它所引起的效應絲毫沒有改變。

中子星的其他性質，現在還不太明瞭，其因在於：(1)密度到 10^{14} 克/立方厘米時，粒子與粒子間的距離不過 10^{-13} 厘米，在

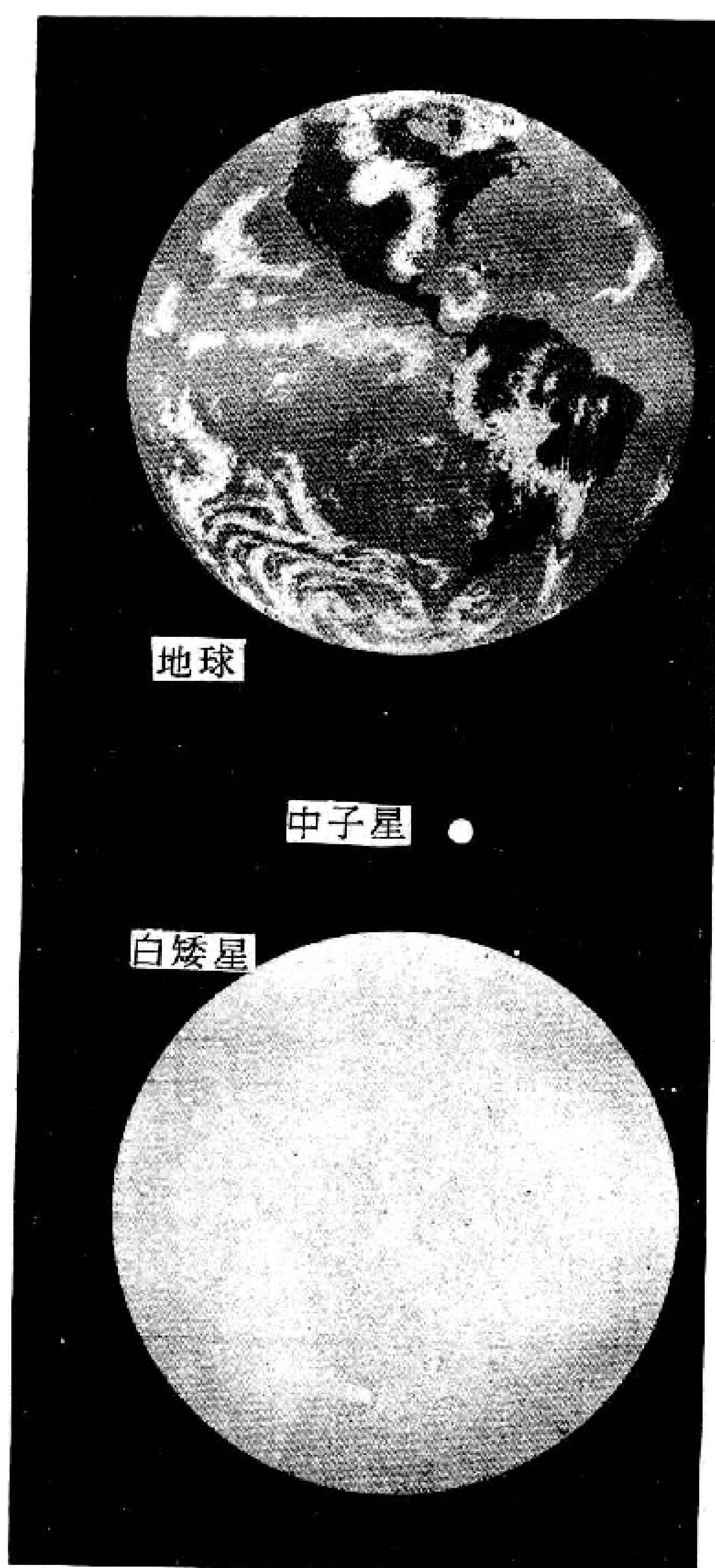


圖 4 — 12

地球、中子星與白矮星的相對大小。典型的白矮星，其半徑與地球半徑很相近，大約是六千公里，不過它的質量卻相當於太陽。中子星的質量與白矮星差不多，只是它的半徑被認爲只有十或十五公里。圖中代表中子星的點已經被放大了好幾倍，實際應該只有本段文字後面的句點一半大。

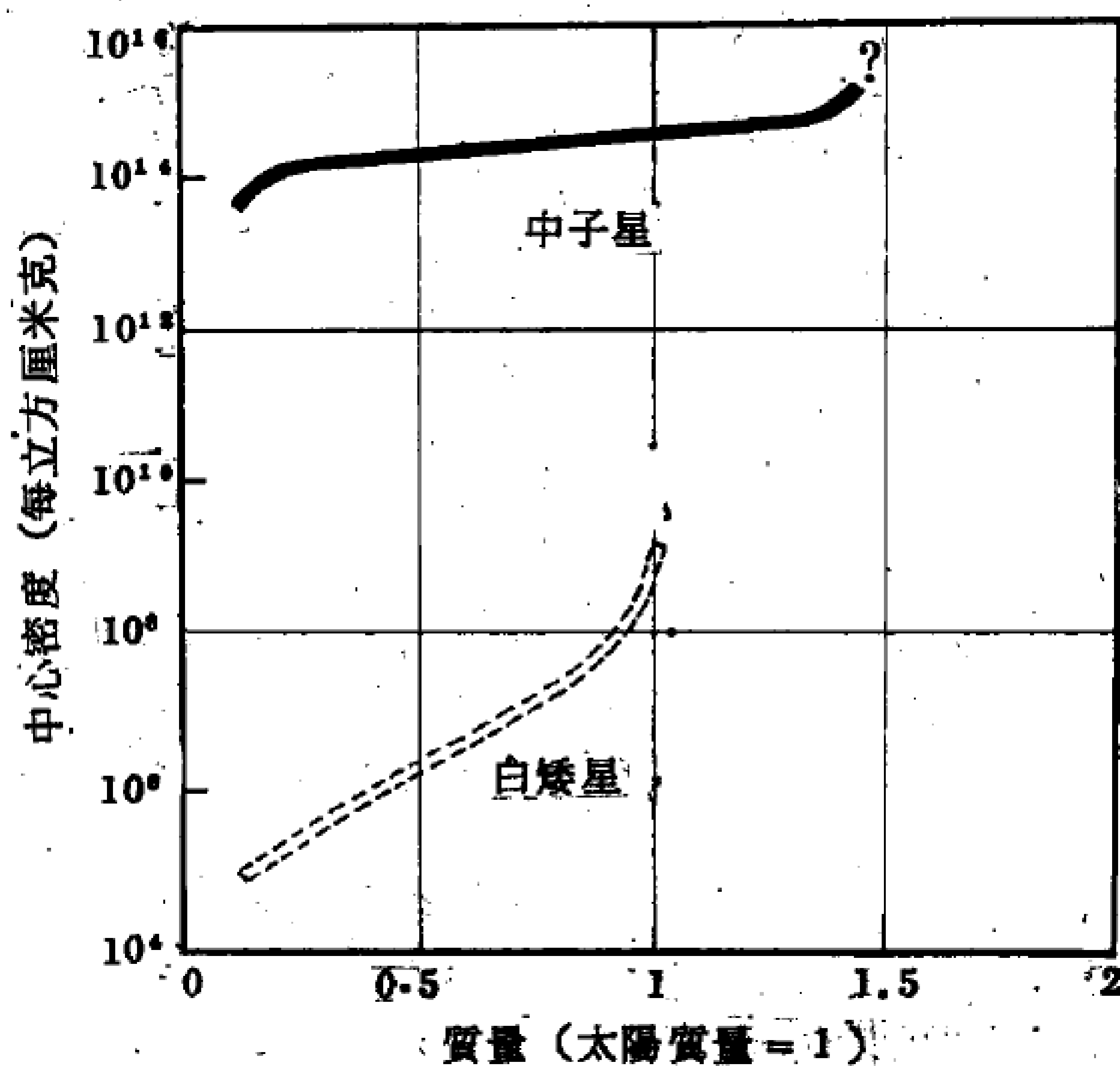


圖 4—13　中心密度

中子星的中心密度要比白矮星的中心密度高出10萬倍到10億倍。一粒豌豆的密度若達每立方厘米10^{8}克，其質量相當一輛貨車的質量。密度介於 10^{9} 克與 10^{14} 克之間的物質可能不穩定，所以圖4—13中的曲線在這個範圍內並不連續。

這樣短的距離強核子力有很大的影響，而今日物理學家對核子力的特性還不甚瞭解。(2)中子星內一切計算，廣義相對論的影響已不能忽視。一般說來，正如特殊相對論的作用在物質的速度與光的速度的比值趨近 1 時開始顯著，廣義相對論的作用在物質的重力位能與物質的靜止質能的比值趨近 1 時也開始顯著。對星球而言，便是

$$\frac{GmM_\theta}{R}\Big/mC^2=\frac{GM_\theta}{RC^2}\rightarrow 1$$

其中G是重力常數，M_θ 是星球的質量，R是星球的半徑，把中子星的值代進去，即在表面$\frac{GM_\theta}{RC^2}$已是0.1，其因重力而產生的空間曲度已不

能忽視了。研究中子星第三點最大的困難是它強大的磁場，許多物理變化和粒子性質在強大磁場中都有改變，而這些改變迄今仍是未能瞭解透徹。

儘管如此，中子星自轉的理論和波霎的觀測結果符合之處甚多。一般星球自轉的週期是 10^6 秒（太陽是 26 天），崩潰收縮之時角動量損失不大的話，週期和半徑之平方成正比，十公里半徑的中子星自轉週期在最初應是 10^{-4} 秒左右，它既不斷的輻射高能粒子和電磁波，角轉動量亦應逐漸減低。蟹狀星雲正是最好的例子，蟹狀星雲是西元 1054 年，宋朝致和新星爆炸的殘體，蟹狀星雲的年齡是九百歲，從它現在每秒 4.5×10^{-13} 秒的角減速推算，角動能的損失是每秒 10^{47} 爾格，雖然波霎本身所發的電磁波，包括無線電波和可見光波估計僅在每秒 10^{42} 至 10^{43} 爾格之間，遠比每秒 10^{47} 爾格爲小，但是整個蟹狀星雲因電磁輻射而損失的能量正好是 10^{47} 爾格/秒上下，目前最流行對星雲的解說（源由古特 *T. Gold*）是中子星表面的電漿沿著磁力線往外流，因爲磁力線跟著中子星旋轉的緣故，帶電的粒子也隨著旋轉，離中心愈遠其切線速度 v_t 也愈大，等到大到 v_t 接近光速時（大概在距星球 $r = CT/2\pi \sim 10^5$ 公里左右），高能的粒子乃脫離中子星磁力線的控制而激射入蟹狀雲氣的太空，蟹狀星雲中的磁場強度約在 10^{-3} 至 10^{-4} 高斯之間，比中子星表面的磁強要弱得多，但是電子在這微弱磁場中打轉，依然能因同步輻射（*synchrotron radiation*）而發出不同波長之電磁波，乃爲我們觀測到的無線電波和 X 射線之來源。至於爲什麼中子星表面只有局部區域發出很強的電磁波（因此當此一區域轉至朝向地球時，好像燈塔的光在黑暗的海洋上掃過，便見光亮一閃），則還不甚瞭解。總之，中子星的物理是一個新天地的物理，它的高密度和強磁場使核子力、重力和磁力的作用，進入和我們習慣的實驗室情況完全不同的新境界，而波霎的觀測供給我們一些理論研究的線索，目前的研究正方興

未艾。

【中子活化分析】(Neutron activation analysis)

以中子做爲活化劑所從事之活化分析。

【中子盈餘】(Neutron excess)

詳閱“超額中子(*Neutron excess*)”條。

【中子流密度】(Neutron current density)

於反應器通道上單位體積內所通過的中子數稱爲中子流密度。

【中子計數器】(Neutron counter)

偵檢中子輻射的存在及決定其強度的儀器。

【中子能】(Neutron energy)

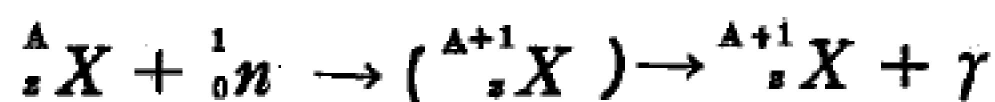
於絕對溫度T時，中子處於平衡狀態，對應於該溫度將有速度的分佈，最可能的速度時的動能爲

$$E_k = \frac{3}{2} kT$$

其中k爲波茲曼常數，其值$k = 1.38 \times 10^{-16}$爾格／°K。

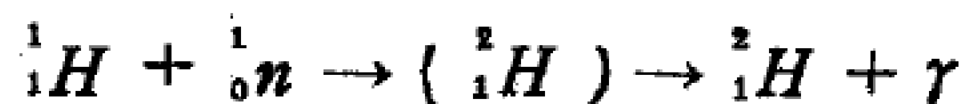
【中子捕獲反應】(Neutron capture ; N-capture)

原子核吸收或捕獲一中子之過程稱爲中子捕獲。一種材料的捕獲中子的或然率以其中子捕獲截面表示之。其大小依中子之能量及材料之性質而定。在此反應過程中，被撞擊之原子核，將穿入之中子捕獲，其質量增加，原子序及化學性質均未改變。而變成被擊元素激發態之同位素，同時放出γ射線，故此類核反應可記爲(n-γ)反應，其通式爲：



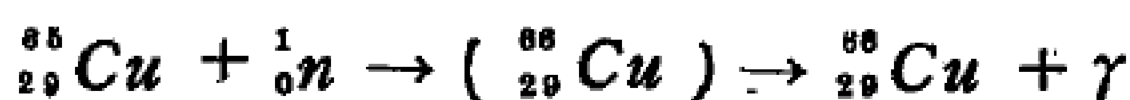
$${}^{A}_{z}X + {}^{1}_{0}n \rightarrow ({}^{A+1}_{z}X) \rightarrow {}^{A+1}_{z}X + \gamma$$

例如：



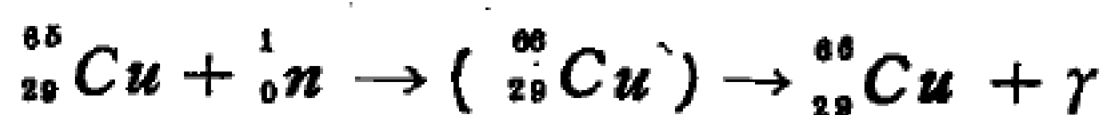
$${}^{1}_{1}H + {}^{1}_{0}n \rightarrow ({}^{2}_{1}H) \rightarrow {}^{2}_{1}H + \gamma$$

$${}^{23}_{11}Na + {}^{1}_{0}n \rightarrow ({}^{24}_{11}Na) \rightarrow {}^{24}_{11}Na + \gamma$$

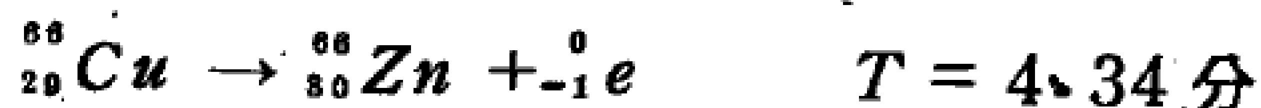


$${}^{65}_{29}Cu + {}^{1}_{0}n \rightarrow ({}^{66}_{29}Cu) \rightarrow {}^{66}_{29}Cu + \gamma$$

多種元素均能產生此種核反應，尤以重元素更爲顯著，如此形成之重同位素具有放射性，稱爲放射性同位素，例如慢中子（ *slow neutron* ）撞擊銅原子核：

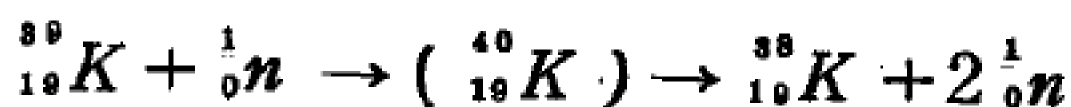


$$^{65}_{29}Cu + ^{1}_{0}n \rightarrow (^{66}_{29}Cu) \rightarrow ^{66}_{29}Cu + \gamma$$



$$^{66}_{29}Cu \rightarrow ^{66}_{30}Zn + ^{0}_{-1}e \qquad T = 4.34 \text{ 分}$$

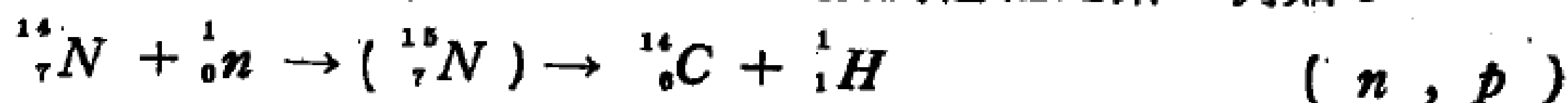
如令快中子（ *fast neutron* ）撞擊鉀原子核，則放出正子：



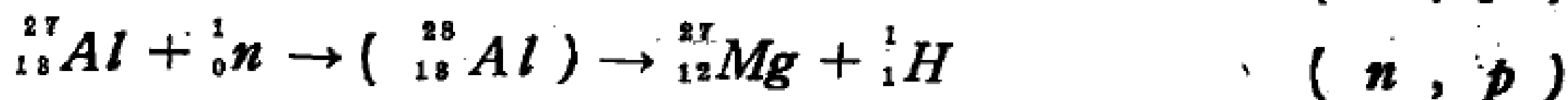
$$^{39}_{19}K + ^{1}_{0}n \rightarrow (^{40}_{19}K) \rightarrow ^{38}_{19}K + 2\,^{1}_{0}n$$

$$^{38}_{19}K \rightarrow ^{38}_{18}Ar + ^{0}_{1}e \qquad T = 7.5 \text{ 分}$$

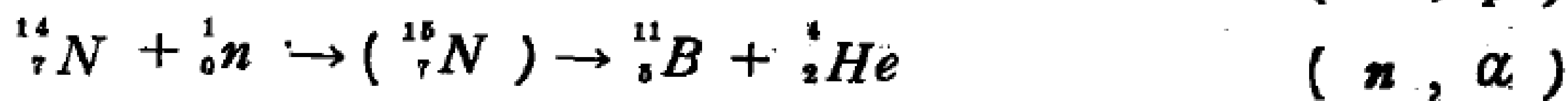
另一種中子捕獲反應爲當被擊元素之原子核，於捕獲中子後，放出 α 粒子、質子或中子，其反應生成物多數爲他種元素，例如：



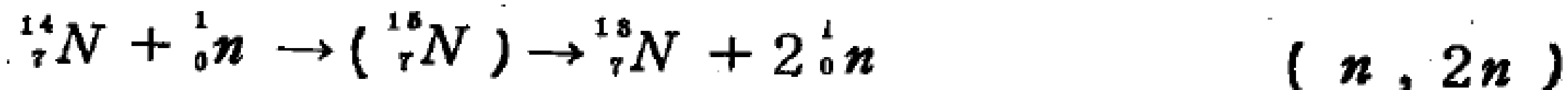
$$^{14}_{7}N + ^{1}_{0}n \rightarrow (^{15}_{7}N) \rightarrow ^{14}_{6}C + ^{1}_{1}H \qquad (n, p)$$



$$^{27}_{13}Al + ^{1}_{0}n \rightarrow (^{28}_{13}Al) \rightarrow ^{27}_{12}Mg + ^{1}_{1}H \qquad (n, p)$$



$$^{14}_{7}N + ^{1}_{0}n \rightarrow (^{15}_{7}N) \rightarrow ^{11}_{5}B + ^{4}_{2}He \qquad (n, \alpha)$$

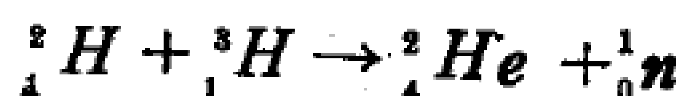


$$^{14}_{7}N + ^{1}_{0}n \rightarrow (^{15}_{7}N) \rightarrow ^{13}_{7}N + 2\,^{1}_{0}n \qquad (n, 2n)$$

中子誘發核反應，甚爲重要，所得放射性同位素，更爲今日醫藥、生物、化學、工業上所廣泛運用。

【中子產生器】（ Neutron generator ）

又稱爲中子加速器，爲一種產生高速中子的裝置。實驗室中一般用之中子產生器爲小型者，其主要部分爲一高壓裝置和加速管。先使重氫（ *deuterium* ）加熱，令重氫的氣體通過離子源，形成一束帶電粒子，加速至數十萬電子伏特的能量後，使其聚焦並轟擊加速管內氚靶（ *tritium* ）上，而發生原子核反應



$$^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n$$

在反應中所產生中子具有能量高達 $14.7MeV$，此高能中子射束即可供以誘發原子核反應實驗之用。

【中子密度】（ Neutron density ）

在反應器核心內每立方厘米內所含的中子數謂之中子密度。

【中子通量】(Neutron flux)

中子通量是用來表示中子照射的強度。它表示每秒鐘通過每平方厘米的靶的中子數。

設一中子在一立方厘米的物體中進行，其速度爲 v 厘米/秒，則每秒中其所行的距離爲 v 厘米。今若有中子密度爲 n 中子/厘米^{3}的物體中，則其每秒中中子所行的總距離爲

$$\phi = nv\ \left(\frac{\text{中子}\cdot\text{厘米}}{\text{厘米}^3\cdot\text{秒}}\right) = nv\ \left(\frac{\text{中子}}{\text{厘米}^2\cdot\text{秒}}\right)$$

ϕ 即稱爲中子通量。

中子通量爲闡述中子場時極重要的數值，具有如下所述的物理意義。

考究一圓盤（如圖 4 — 14）其面積爲 $\pi R^2 = 1$ 厘米^2，其中心固定在 r 點，$F(r, \Omega)\,d\Omega$ 表穿過此圓盤沿 Ω 方向在立體角 $d\Omega$ 內中子的總數。現將此圓盤向各方向轉動而保持其中心位置不變，則轉動結果正好畫成一球。此球表面積爲 $4\pi R^2 = 4$ 厘米^2。由於

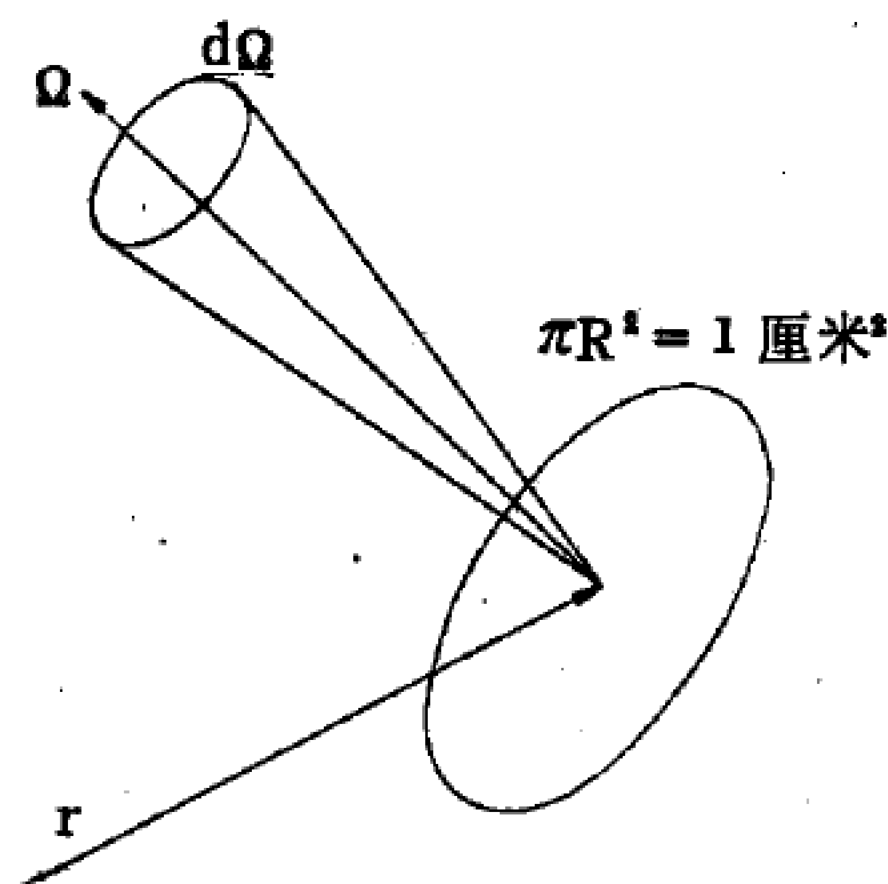


圖 4 — 14　通量

$$\phi(r) \equiv \int_{4\pi} F(r, \Omega)\,d\Omega$$

而向各方向轉動正代表對 $d\Omega$ 的積分。故 $\phi(r)$ 可視爲單位時間內中子向各方穿過球面的總數。因有 2ϕ 之中子於單位時間內經 4 厘米^2 之球表面積（每一中子自球面外至球面內再從球面內至球面外，故穿過球面兩次），故在各方向中子均衡分佈的中子場中，單位時間內有 $\phi/2$ 的中子穿過 1 厘米^2 之表面。

【中子偵測】(Neutron detection)

偵檢中子的方法稱爲中子偵測。

參閱“中子探測器（*Neutron detector*）”條。

【中子探測器】（Neutron detector）

中子爲不帶電的中性粒子，欲探測中子均需間接藉中子與物質發生核反應後產生的二次帶電粒子測知。此類核反應可大約分爲兩類，一爲藉核反應當時所放出的帶電粒子。例如硼－10（n，α）、鋰－7及氦－3（n，p）氫－3等核反應或中子與質子的散射反應。另一爲先由中子與物質發生核反應而成爲放射性物質，然後再自中子場中移出此物質而測量其放射性（如β射線或γ射線），後者在量度中子場較強時甚爲重要。

常用中子探測器有以下數種：

1. 硼計數器（*boron counter*）爲利用硼的同位素硼－10與中子所引起核反應而製成一種中子探測器。在一圓筒形容器中裝入含濃縮硼－10（達96%）之氟化硼（BF_3）低壓氣體，其中心爲金屬細線之陰極。當中子射入時，中子與硼－10原子核起反應而產生α粒子

$$ {}^{1}_{0}n + {}^{10}_{5}B \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{7}_{3}Li $$

所生之α粒子具有相當的動能，立即引起電離並產生離子對，其作用與一般充氣計數器相同。

參閱“充氣計數器（*Gas-filled counter*）”條。

欲有效地探測快中子，此硼計數器周圍常包以石臘（*paraffin*），先將快中子減速，因硼－10與慢中子的作用機率較高之故。

2. 質子反衝探測器（*proton-recoil detector*）若能量爲E的中子撞擊在靜止中的質子，則此質子所獲得之能量爲

$$ E_p = E\cos^2\theta $$

式中θ爲散射後質子飛行的方向與原來中子入射方向所夾之角。由上式可知藉測量質子的最大能量以求出入射中子的能量。適用範圍約自10

KeV 至 10 *MeV* 的中子能量。

質子反衝探測器中有充氫氣或甲烷氣體者，其壓力可達數個大氣壓。反衝質子在此類氣體中的行程甚大（例如在一大氣壓之氫氣中，具有 $E_p = 0.5\ MeV$ 的質子其行程爲 2.5 厘米）。常用質子反衝的閃爍計數器已廣泛被採用作爲快中子探測之用。

3. 飛行時間能譜儀（*time-of-flight spectrometer*）

參閱"飛行時間能譜儀（*Time-of-flight spectrometer*）"條。

4. 分裂計數器（*fission counter*）由中子誘發核分裂後的分裂產物，其能量約達 160*MeV*，藉此可作爲探測中子之用。此類分裂計數器對在反應器中的中子探測甚爲重要，因其在極高之 γ 射線背景下仍能有效地探測中子之故。

【中子減緩】（Slowing down of fast neutron）

快中子藉與物質作彈性散射碰撞而能量遞減，直至其平均動能與周圍物質相等時爲止。中子能量遞減的快慢與其被碰撞物質的原子量及彈性散射截面有直接關係。下式定義中子減緩本領 S_{dp} 爲

$$S_{dp} = \xi N_0 \sigma_s$$

式中 ξ 爲每次碰撞時中子能量對數值的平均減少，N_0 爲單位體積內被碰撞物質的原子數，σ_s 爲彈性散射截面。中子減緩密度（q）爲在單位時間及單位體積內，自高能量通過能量 E 至低能量的總數：

$$q = \phi N_0 \sigma_s \xi$$

式中 ϕ 爲中子通量。

由費米年積公式可知中子在減緩過程中的擴散問題。

表列示中子自 1 *MeV* 之能量減緩至 0.025*eV* 時在不同緩速劑中所需平均時間。

緩　速　劑	$1/\Sigma_s$（厘米）	t_s（秒）減速時間
H_2O	0.69	0.6×10^{-5}
D_2O	2.90	3.6×10^{-5}
Be (1.85)	1.39	6.0×10^{-5}
C (1.6)	2.66	1.5×10^{-4}

【中子疏密曲度】(Buckling)

在中子場中，表示中子通量 ϕ 分佈的方程式可以一般擴散公式表示之，即

$$\nabla^2\phi + B^2\phi = 0$$

式中 B^2 稱爲中子疏密曲度，即表示中子空間分佈的曲度，其值隨不同之幾何形狀及所加的邊界條件而異，故又稱之爲幾何曲度（*geometrical buckling* ）。 對無反射體之反應器，假設中子爲單一能量時，所求得此反應器的臨界條件爲

$$\frac{k_\infty - 1}{L^2} = B_c^2$$

k_∞爲設反應器爲無限大時的乘積因數（由四因數公式求出）。$L^2 = D/\Sigma_a$ 爲中子擴散長度的平方，其值隨不同之緩速劑而有很大的變化。〔參閱"中子擴散常數(*Diffusion coefficient of neutrons*)"條之表〕故 B_c^2隨不同之反應器構成材料而有所差異，故亦可稱之爲材料曲度(*material buckling*)。

上式可改寫爲

$$\frac{k_\infty}{1 + L^2B_c^2} = 1$$

此爲假設中子是單一能量時的臨界方程式。$\dfrac{1}{1 + L^2B_c^2}$ 表示假設中子爲單一能量時，中子未逸出反應器的機率。

【中子源】(Neutron sources)

自由中子在自然界中並不存在，而需藉核反應產生，換句話說，一般最主要的中子源來自核反應器。通常原子核以α粒子、質子、氘子或γ射線撞擊後，有一定之機率產生複合核。此複合核的受激態能量，恰等於入射粒子在此複合核中的結合能加上入射粒子的動能。若此複合核的受激態所具之能量已高於最後一中子的結合能，即有中子自複合核中分離射出的可能，故核反應可產生中子，作爲中子源。

核反應器所產生的中子通量最高，其所能達到的最大值是10^{16}中子／厘米^{2}秒。大多數核反應器中的中子其平均速率大約爲2,200米/秒，與其周圍的核燃料成熱平衡。當核分裂產生的一瞬間，同時產生快中子，這些快中子與其他原子碰撞並漸漸被減速。由一些實驗用的核反應器可以獲得快中子。

中子源依其不同的核反應可分爲以下數種：

1.（α，n）反應，最常見者爲鐳－鈹，鋂－鈹，釙－鈹及鈽－鈹中子源，其中鐳、鋂、釙及鈽均爲有α放射性的元素。由此類中子源所產生的中子其能量並不一致。

2.（d，n）反應，小型加速器（300 KeV以下）均利用氫－3（d，n）氦－4反應產生14.1 MeV的中子。一般言之，（d，n）反應的Q值差不多均爲正值，故在加速器內加速氘核，可獲得較加速粒子能量爲高的中子。

3.（p，n）反應，最常見者乃藉鋰－7（p，n）鈹－7及氫－3（p，n）氦－3反應產生中子。在一定角度內可得單一能量的中子，此類反應的Q值均爲負值。

4.（γ，n）反應，若放射性物質其放出γ射線的能量，大於附近原子核中最後一個中子的結合能，則此最後中子可能獲得γ射線的能量，而自原子核中分離，利用此反應可產生單一能量的中子。在自然界中能產生大於3 MeV γ射線的放射性同位素並不多，且半衰期甚短，故

適合藉（ γ ， n ）反應而得的放射性中子源不可多得。最常見者爲銻－鈹中子源，銻－124爲銻－123吸收中子後產生的放射性同位素，貝他衰變後有1.692 MeV的γ射線。銻－124的半衰期爲60.9天，銻－鈹中子源產生單一中子的能量爲26 ± 1.5 KeV。

在直線型加速器中加速電子可在高原子序物質中（如鈾）產生"制動輻射"能量亦會超過物質中最後中子的結合能，而有使中子自原子核中分離射出的可能。這也屬於利用（ γ ， n ）反應產生中子者。

5. 利用分裂反應，反應器即屬此類中子源。例如熱功率爲10MW的反應器，每秒中約有3×10^{17}次分裂反應，每次分裂平均有2.5個中子產生，在反應器中，中子能量分佈甚廣，自數個MeV至熱中子。惟可藉輔助設備（如斬波器等）得單一能量的中子。原子彈爆炸時亦產生極大量的中子，如一萬噸級的原子彈在百萬分之一秒內產生10^{30}個中子。

藉自身分裂而可利用的中子源亦漸被大量採用，如鉲－252（$^{252}_{98}Cf$）即爲一例，目前世界上已有數以克計的鉲－253可資利用。

一般研究用的核反應器可產生通量從10^{12}到10^{13}中子／厘米^{2}秒的慢中子。這種核反應器的特性就是取用其中中子非常簡單。

第二個重要的中子源是粒子加速器，將帶電粒子加速到很高的速度，這些高速的帶電粒子可以直接用來作活化分析，或者用它來產生中子。將帶電粒子撞擊某一些特殊的原子則會發生（ p ， n ）、（ d ， n ）或（ α ， n ）的反應，這些反應所產生的中子可以用來分析試樣，用氘核撞擊氚原子產生14 MeV的快中子。如果需要的是慢中子則可將快中子經過緩速劑如鈹、石墨、石臘等將其減速，此由於中子與緩速劑的原子發生碰撞可以將其速率降低，一般可以買到的加速器所產生的快中子通量高達10^8中子/厘米^{2}秒。

最簡單的中子源是同位素源，α粒子源如釙－210或鈽－238和鈹

小心混合則生（α，n）的反應。這裏所產生的中子可用來作研究工作，這種中子源往往被稱爲"中子榴彈礮"，其主要組成是一個大容器，裏面構造很簡單，最重要的是要有足夠的屏蔽，其次是留下一個洞口，以便把試樣擺進去接受照射。

【中子節約】（ Neutron economy ）

在反應器中，除了滲漏或非生產性的吸收而損失之外，中子被有效利用的程度稱爲中子節約。其利用範圍包括鏈鎖反應的持續，轉變可孕材料爲可裂材料，製造同位素或研究。

【中子壽命】（ Neutron life time ）

中子壽命爲一中子自產生至其在所考究的物體中消失（被吸收或自所考究物體中逸出）所經歷的平均時間。在熱中子反應器中，爲求計算方便起見，中子壽命可分爲兩部分：一爲自分裂後所生的中子減速至熱中子能量所需的時間，稱爲減速時間。另一爲熱中子壽命；即熱中子在擴散過程中的平均壽命。下表爲在無限大物體中（即設中子不會自物體中逸去），對不同物質，中子自分裂產生至消失的平均壽命。

緩速劑	減速時間（秒）	擴散時間（秒）
水	7.1×10^{-6}	2.4×10^{-4}
重　水	5.0×10^{-5}	6.0×10^{-2}
鈹	5.7×10^{-5}	4.2×10^{-3}
石　墨	1.4×10^{-4}	1.6×10^{-2}

【中子數】（ Neutron number ）

原子核包含質子與中子，假設質量數A代表原子核中質點總數，原子數Z代表原子核中子數，則$N=A-Z$是原子核中之中子數。N亦稱爲同位素的中子數，任何元素的同位素只在中子數有些微差異，例如氧之原子數爲8，有三種穩定之同位素16、17和18分別以${}^{16}_{8}O$、${}^{17}_{8}O$和${}^{18}_{8}O$表之，有時亦以${}^{16}O$、${}^{17}O$和${}^{18}O$分別表之。

【中子磁矩】(Neutron magnetic moment)

近年來由高能量的電子散射實驗，得知中子的電荷分佈並不均勻，而是半徑的函數，其分佈如右圖所示。其曲線下的面積恰等於零。

雖然中子並不帶電，但卻有磁矩，這是因爲中子在部分時間變成一質子和一π^-介子。因π^-比質子輕，運動較快，結果磁效應是負電荷的旋轉所致，故中子的磁矩爲負。其最新的實驗值爲

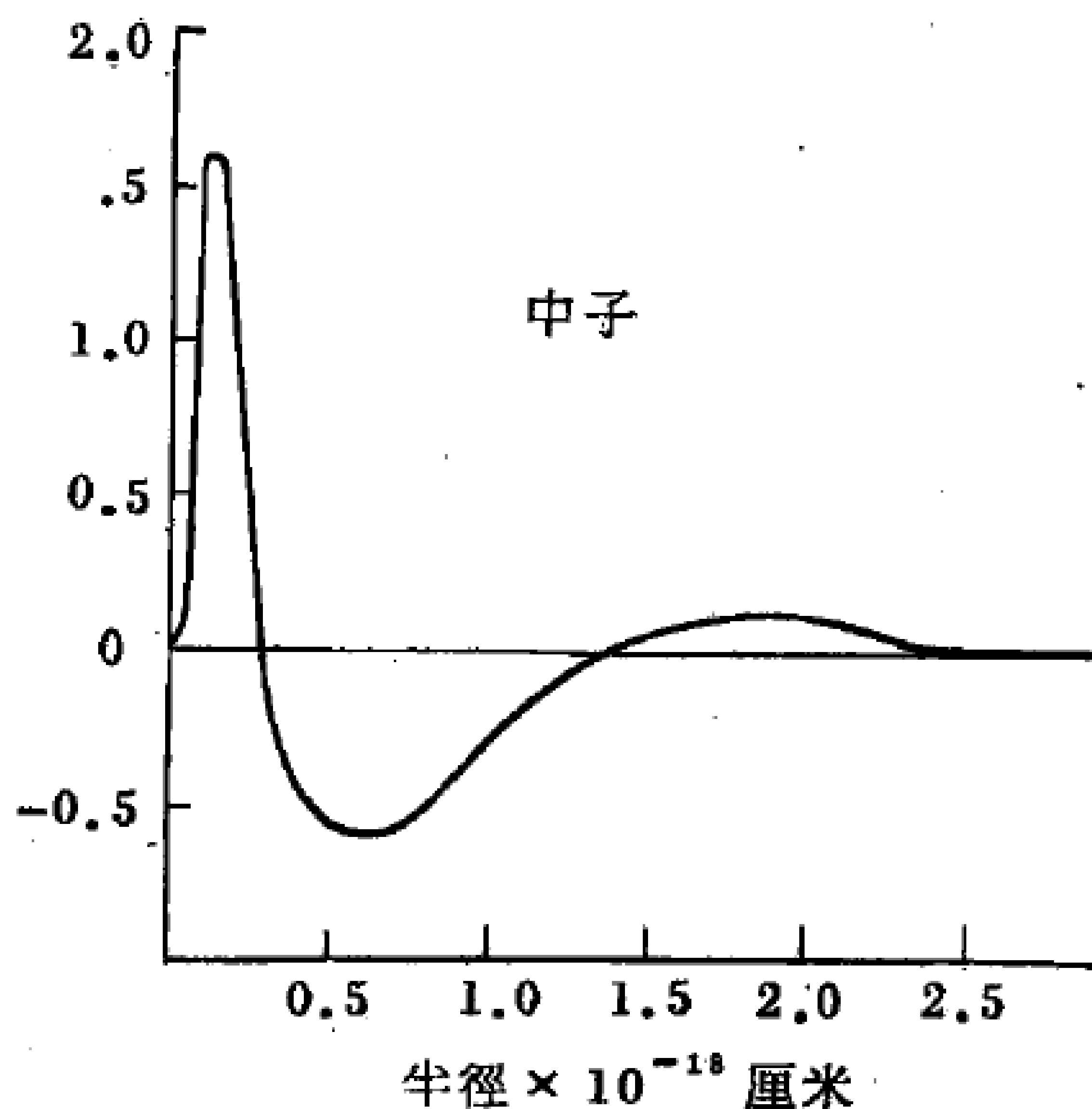


圖 4 — 15

在質子和中子之內的電荷分佈圖形，電荷分佈是半徑的函數，縱坐標爲$4\pi r^2\rho(r)$，單位是$e\times10^{13}$ cm^{-1}。

$\mu_N = -1.91315\,\mu$

中μ_N稱爲核磁元 (*nuclear magneton*) 其值爲

$$1\,\mu_N = \frac{\hbar e}{2m_p c} = 0.505038\times10^{-23} \text{ 爾格/高斯}$$

【中子漏洩】(Neutron leakage)

參閱“中子平衡 (*Neutron balance*)”條。
“漏洩 (*Leakage*)”條。

【中子雜波分析】(Neutron noise analysis)

在鏈式反應系統中 (如反應器)，我們可藉分析其中中子密度統計上的變化，而得知反應器的若干特性，如瞬發中子的壽命，反應度及分裂速率的絕對值等，此類方法統稱爲雜波分析。在反應器中任意取出兩中子，則可大別爲兩類：一爲相互有關係者，如屬於同一鏈反應環中者；另一則完全無關者，如放射性衰變的情形。後者對時間的分佈可證明

爲帕松（ *Poisson* ）分佈形式。而相關之中子隨時間改變的特性，應直接與鏈反應的時間特性有關係，此爲引用雜波分析求出反應器特性的基本原理。

【中子繞射】（ Neutron diffraction ）

1936年，查兌克（ *Chadwick* ）發現中子。其後不久，米契爾（ *Michell* ）與包爾斯（ *Powers* ）兩氏即發現中子射束通過晶體時，亦有繞射現象。通常中子被認爲是不帶電荷的粒子，根據德布洛利（ *De Broglie* ）的理論，具有動量 p 的粒子有波的性質，其波長爲 $\lambda = h/p$；$1\,eV$ 的中子，其波長即相當於普通的 X 射線。事實上，中子射於晶體上後，產生繞射，能生成繞射圖樣。

X 射線屬於電磁波，穿過物質時，常爲物質中的電子所散射，由 X 射線繞射所得到的實驗數據，常爲物質中電子的分佈。又對磁性物質，X 射線即無法測出原子的磁矩。中子本身即具有磁矩，因此能與固體物質中的磁性電子產生交互作用，可以測出物質的磁矩，又可輕易地將氫或其他輕元素在分子羣中的結構鑑定出來。中子繞射應用於固體物質上的研究，較 X 射線繞射的範圍更爲廣泛。

【中子擴散常數】（ Diffusion coefficient of neutrons ）

在不隨時間變化的中子場中，由中子擴散公式可知：

$$\nabla^2 \phi - \frac{\Sigma_a}{D} \phi = 0$$

式中 ϕ 爲中子通量，Σ_a 爲物質對中子的吸收係數，D 爲中子擴散係數。$\sqrt{D/\Sigma_a} = L$ 爲一長度單位，稱之爲擴散長度（ *diffusion length* ），擴散長度表示在無限大的熱中子場中，熱中子自產生至被物質吸收所行之距離。幾種常用之緩速劑其擴散長度如下表所示：

緩速劑	H_2O	D_2O	C（石墨）	Be	BeO	$(C_2H)_n$（石臘）
L（厘米）	2.70	148	50	22.1	28.6	2.42

【中子譜移反應器】(Neutron spectral shift reactor)

一種以輕水和重水之混合物做爲緩速劑和冷卻劑的反應器。由於輕水和重水之比例的變化而改變反應器核心裏中子的速度分佈(中子譜)。既然中子被捕獲的機會隨著中子的速度而變，由此可得反應器控制的量度。

【中心抽頭變壓器】(Center tap transformer)

初級線圈或次級線圈劃分爲兩半的變壓器。中心抽頭變壓器應用在全波整流器內以及在推挽電路中用作爲級間變壓器。

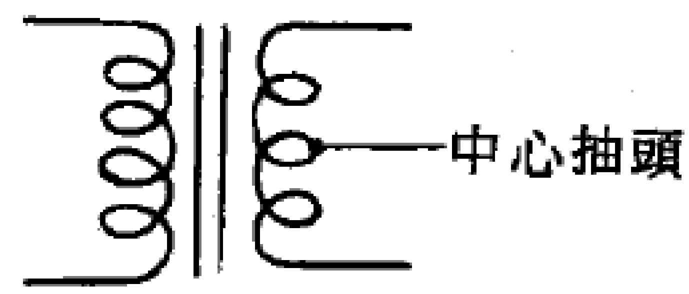


圖 4 — 16

【中心頻率】(Center frequency)

在 F.M.中以同步信號調制後，發射電波之平均頻率。

【中央處理機】(Central processing unit)

中央處理機爲電腦之主要運作部分，通常包括兩大部門，即控制部(*control section*)和算術邏輯部(*arithmetic logical section*)。見圖 4 — 17。

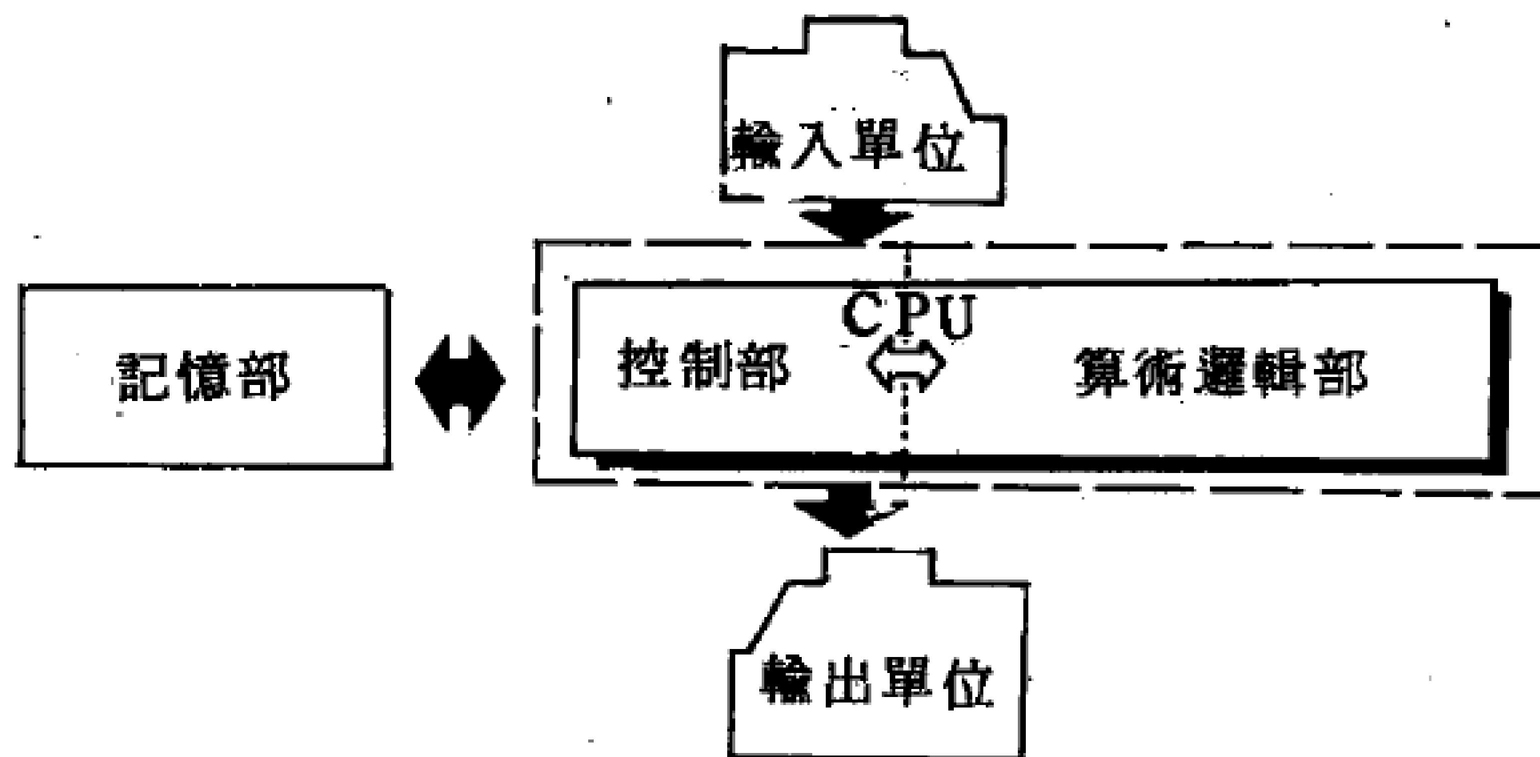


圖 4 — 17 電腦系統中的中央處理機

中央處理機控制部的主要功能在於：

1. 控制輸出入單位(*input/output unit*)。
2. 控制電腦記憶部(*storage unit*)資料的進出。
3. 控制電腦系統記憶部與計算部之間資料的交換。

4.指引算術邏輯分析部的操作。

【中波】(Medium frequency wave)

波長由200公尺到3,000公尺的電波。不過這個術語並不是永遠都只是表示這一個意義。例如在接收機的度盤上，“中波”就常常指的是由200公尺到600～800 公尺較窄的波段，而比此長一些的波就被叫做“長波”。中波與短波不同。中波是直接在地面上傳播的，所以沒有靜區，並且電離層的狀況對接收條件的影響也小於接收短波時的情形。不過由於大地的吸收，中波不能傳播到短波那樣遠。所以中波能夠保證的接收距離比短波要小得多，然而中波的接收卻比較穩定可靠。在國內廣播用的電波，因可由離地100～150 公里處的E層反射，可以傳播到相當遠的地方，但不如短波的遠。

【中和】(Neutralization)

一個調諧C類放大器有時會變成一具調屏柵振盪器，在調諧電路的諧振頻率振盪。在這種情況下，屏柵間的極際電容一定大至足夠供給適當反饋能量，以維持振盪。這種振盪在使用三極管時最爲常見，因爲它們有大的極際電容。四極管和五極管的極際電容非常小，不常有這種振盪情形發生。當三極管用作射頻放大器時，應儘可能消除以上所述的振盪，消除方法叫做中和。在中和時，放大器中一定要有一電路用來抵銷屏柵極際電容的反饋效應。

有二種電路可用來中和屏柵間極際電容，以減少振盪的可能性。每種電路必須由屏極經中和電容器反饋信號至柵極，來完成中和作用。這個反饋信號應與經屏柵間極際電容的信號大小相等，相位相反。這些電路叫做屏極中和法(*plate neutralization*)和柵極中和法(*grid neutralization*)，以它們產生反饋電壓的電路部分而命名。

圖4—18中C_{gp}代表三極管屏柵間極際電容，C_n爲中和電容器。中和信號經此電容器傳至柵極，L_1 爲中心抽頭的調諧線圈，其中心點

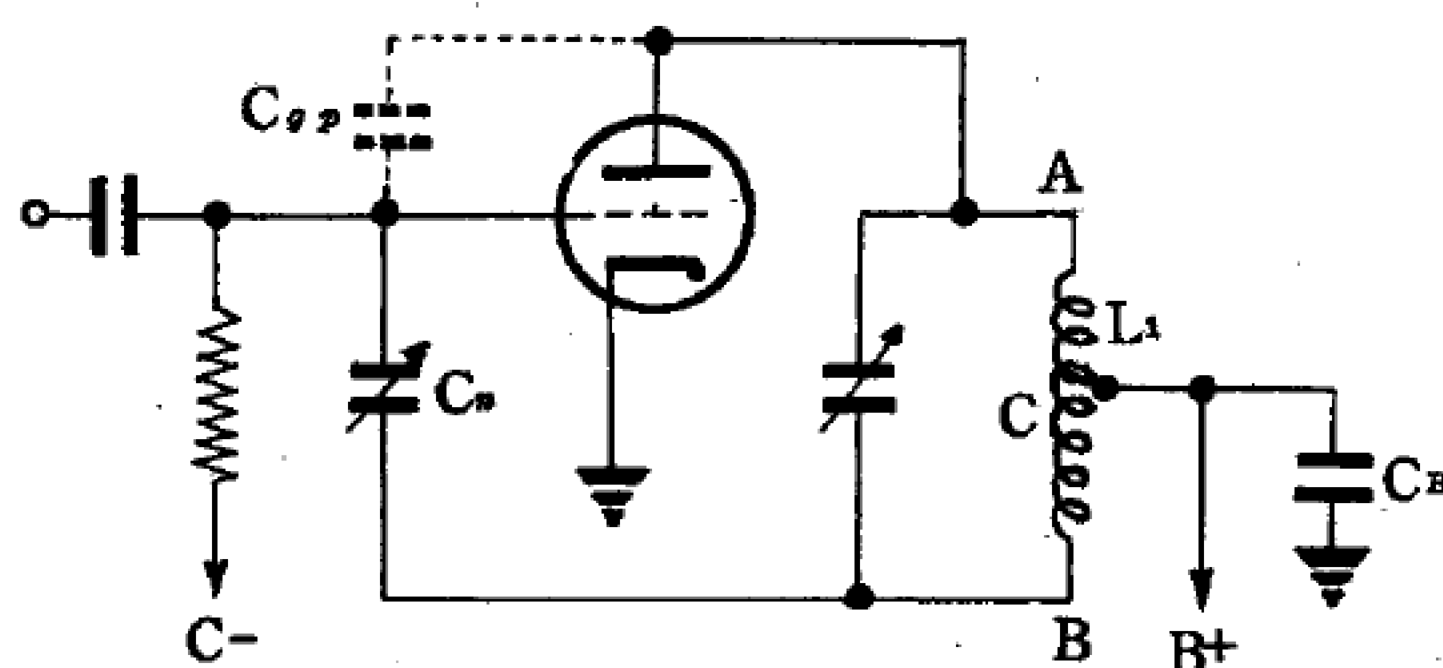


圖 4—18 屏極中和電路

C經射頻旁路電容器C_B 接地，所以對射頻而言，C點是通地的。線圈L_1的兩端A和B，因中心點C已通地，所以在A和B點上的射頻電壓對C點而言是大小相等而相位相反。

【中性分子】(Neutral molecule)

凡分子中正負電荷電量相等的稱爲中性分子，例如水H_2O。而SO_4^{-4} 則不爲中性分子。

【中性區】(Neutral region)

磁鐵上無吸力之處，名爲中性區。

【中性體】(Neutral body)

物體之不帶電者；亦即物之原子內的質子與電子數量相等者。又名中和體。

【中速中子】(Intermediate neutron ; Epithermal neutron)

能量高於熱中子而低於快中子。其能量的範圍大約在 0.5 到 100,000 eV之間。

【中速中子反應器】(Intermediate reactor ; Epithermal reactor)

連鎖反應主要是靠中速中子來維持的反應器。

【中間功率放大器】(Intermediate power amplifier)

中間功率放大器的目的在使振盪器隔離，以增進頻率的穩定性，同時放大射頻信號，使它能有效地推動末級功率放大器。此外，中間功率放大器亦可增加調諧範圍，在需要時，在屏極槽蘊電路中可產生二倍或三倍高的頻率。

中間功率放大器基本的工作情形如下（圖 4—19 所示）。合成的柵極和陰極偏壓，分別由 R_3、C_6 和 R_4、C_7 供給。電阻器 R_5 作降低簾柵極電壓至適當數值之用。簾柵極旁路電容器 C_8 由簾柵極直接連至陰極而不至地，這樣可使簾柵極上的任何射頻電壓直接回至陰極，保持簾柵極電壓穩定。屏極上的射頻抗流圈對射頻信號呈現很高的阻抗，相當於聲頻放大器中的屏極負載電阻器。C_9 爲耦合電容器，用以阻止直流電，但對射頻信號，則能順利通過。屏極槽蘊電路包括 C_{10} 和 L_2，可以調諧至放大器的柵極信號頻率，亦可調諧至柵極信號頻率的兩倍。當調諧至頻率兩倍時，此級放大器叫做倍頻器。當用作倍頻器時，屏極和柵極間的隔離作用，有顯著的進步，亦就是說，放大器發生振盪的可能性大爲減少。倍頻器尚有另一優點，它將載波頻率提高，振盪器就可在較低頻率工作，使振盪更爲穩定。電容器 C_{11} 可耦合射頻至末級功率放大器的柵極。

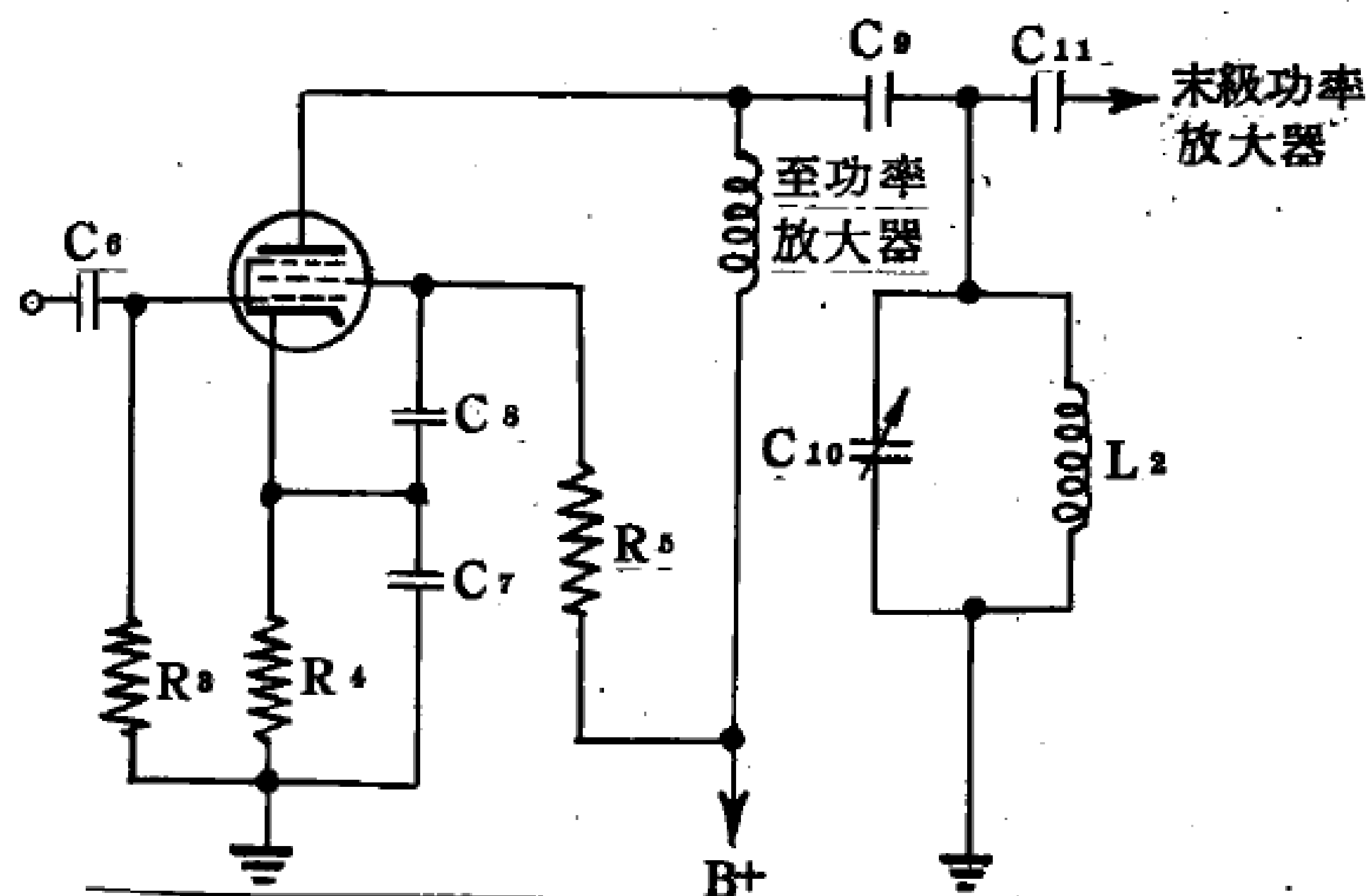


圖 4—19　中間功率放大器

【中短波】(Intermediate wave)

波長在 50 到 200 米之間的無線電波。從傳播規律的特點來看，中

短波介於短波與中波之間。靠近 50 米的中短波之傳播規律差不多與短波完全相同，而靠近200米的中短波的傳播規律則與中波相似。

【中程彈道飛彈】(Intermediate range ballistic missile ;簡寫 I.R.B.M.)

彈道導引飛彈，控制彈道在1,500哩(射程700～2,000哩)左右者爲中程彈道飛彈。非常適用爲人造衛星之發射工具。

【中頻】(Intermediate frequency ; Medium frequency)

由 300 *KHz* 至 3,000*KHz* (仟赫)波段之頻率。此亦爲超外差式接收機中的一個固定頻率，接收機所收到的一切訊號都轉換成這個頻率。這種收入訊號的變頻是利用差頻振盪器和混頻器來實現的。此時差頻振盪器的頻率應當是這樣來選擇，使得這個頻率與所收訊號頻率的差值在一切所收訊號的頻率上都等於固定的中頻。在這個固定的中頻上進行訊號的進一步放大，爲了這個目的，採用著中頻放大器。中頻振盪在放大以後經過檢波，改變成低頻。中頻的縮寫爲 *I.F.*。

中間頻率的選用，只要符合理論與實用上要求，其頻率的或高或低，並無嚴格的限制。在超短波及微波波段中，因頻帶廣濶，干擾性較少，故中間頻率的選用，更爲自由。軍用通信的 *F.M.*無線電機，常使用兩級以上的外差，即選用兩個以上的中頻，而且各種程式的接收機，常採用各不相同的中頻，藉此以保持通信的技術上機密，而輔助密碼保密之不足。

就目前各種接收機的通用中頻而言，中波及短波"調幅"(*A.M.*)廣播以465 *KHz* 爲多。超短波"調頻"(*F.M.*)廣播約爲 10.7 *MHz*。"電視"(*T.V.*)的"圖訊頻率"(*picture signal*)之*A.M.*訊號則轉變爲26 *MHz* 或 45.75 *MHz*，其聲訊頻率之 *F.M.*訊號則轉變爲21.5 *MHz* 或 41.5 *MHz*。民用雷達接收機的中頻，大都爲 15 *MHz* 或 30 *MHz*。

【中頻放大器】(Intermediate frequency amplifier)

此種用於超外差接收機的中頻放大器，屬於高增益電路。中頻放大器永久調諧於一個固定頻率，固定頻率爲外界輸入信號頻率與其本身振盪器(*local oscillator*) 所產生頻率的差，由於作用頻率是一個固定的中頻，因此中頻放大器的諧振電路，可被調到一最大的放大程度及最好的選擇性。中頻放大器的中頻變壓器，包括一對耦合諧振電路(見圖4－20)。此對諧振電路，可藉可變電容器予以調節，或藉調節線圈中的鐵粉芯以改變諧振電路的電感。

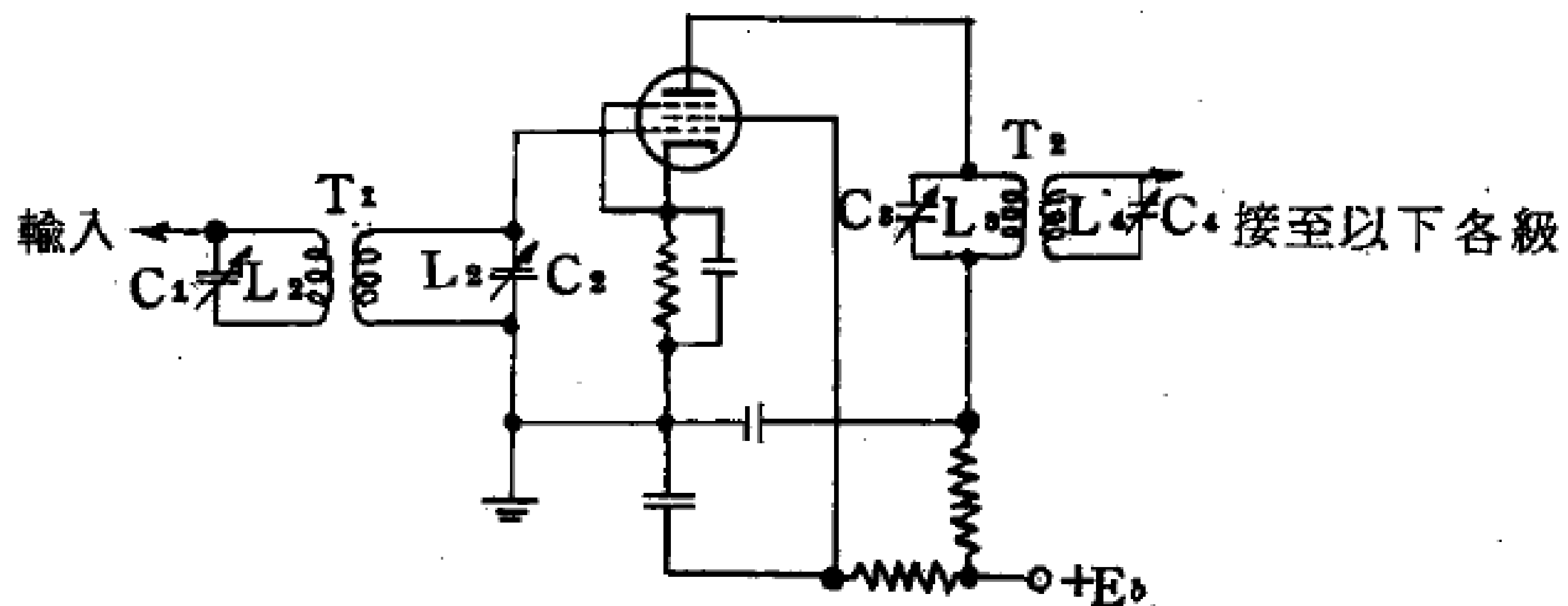


圖 4 － 20　單級中頻放大器

圖4－20 是一個單級中頻放大器，但其包含有兩個中頻變壓器(圖中的T_1及T_2)。變壓器(T_1) 爲輸入變壓器，其一次線圈與前級放大器的屏極電路相連，並且調諧至一固定的頻率(通常爲455仟赫)。二次線圈端的諧振電路(L_2-C_2)與一次線圈藉電感相耦合，並且與五極管放大器之控制柵串聯。在放大器輸出電路上的變壓器(T_2)，與變壓器通常都是過耦合。其頻帶寬則爲聲頻頻率與可提供一聲頻及無線電載波頻率的頻帶寬。

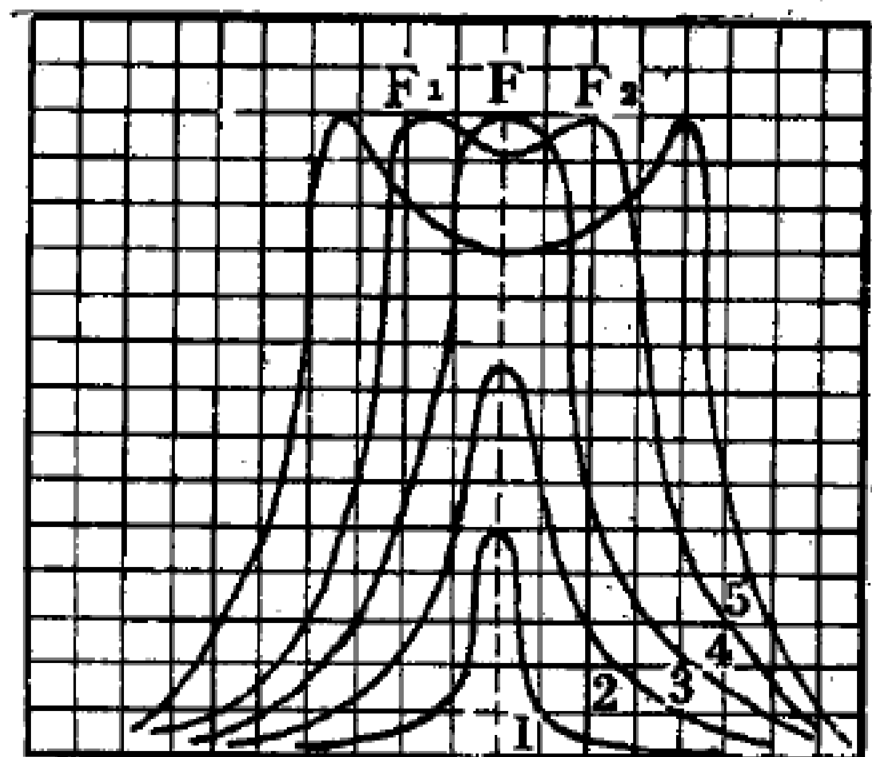


圖 4 － 21

中頻放大器的目的，必須能把中頻訊號內的各頻率作同等放大。

換言之，必須使中頻變壓器的輸出訊號有平坦的頻率特性。即在中頻的上下限頻率 f_1 及 f_2 之間的電能，最好有方方正正平頂的特性，如圖4—21 中曲線 4 所示，適度調整耦合係數，使雙峯不太凸出，而中間凹陷甚微，即達接近平坦響應曲線的臨界點，而得相當滿意的效果。

【中頻變壓器】(Intermediate frequency transformer)

現代的無線電通訊、廣播、電視及雷達等“接收機”(*receiver*)，莫不採用“靈敏度”(*sensitivity*)特高、“選擇性”(*selectivity*)優異、“傳眞度”(*fidelity*)較佳的“超外差”(*superheterodyne*)電路。

超外差接收電路的主要特點，是把一個“頻帶”(*frequency band*)內所有的電臺，不論其頻率高低，凡經接收機“調諧電路”(*tune circuit*)收得之電臺訊號，都要經過一“變頻器”(*frequency converter*)，把它的頻率變成爲一個預定的固定頻率，再加放大(*amplify*)、“檢波”(*detect*) 等手續後由揚聲器發出。那轉變後的預定頻率，因爲它大都採取低於電臺的頻率，而高於聲頻電能的頻率，所以被稱爲“中間頻率”(*intermediate frequency*)或簡稱“中頻”(*I.F.*)。

超外差電路是美國阿姆斯壯(*Amstrong*)所發明，其動機是減少電臺間訊號之干擾。但超外差電路除此以外尙有很多優點。其中之一是可使收入訊號獲得同等的放大率。因爲就接收機調諧電路的性能言，對同一頻帶中頻率較高的訊號感應比較靈敏。而就電子管放大的特性言，對較高頻率的放大力也較強。此外，電子電路中充滿了 *LCR* 的混合電路，這些電路對頻率的作用，與頻率高低成正比或反比，換言之，對不同電臺高低不同的頻率，其“響應”(*response*) 曲線都參差不齊，因此在電路設計與零件製造上都難獲得理想的效果。現在利用超外差電

路把各電臺的載訊射頻，一律改變成一個固定的載訊中頻以後，則所有電路都可針對一個固定的中間頻率而設計。自可獲得對所有電臺的訊號有一視同仁的放大效果。

“中頻變壓器”之線路圖如圖 4 — 22 示，圖中的初級及次級，即由一個初級及一或二個次級中頻調諧電路合組而成，大都是空心或鐵粉芯線圈或兼用半調整式可變電容器的 *LC* 並聯電路。線圈“*L*”及電容器“*C*”構成中頻調諧電路，線圈中的鐵粉芯可代替半調整電容器擔任調整中頻之用。

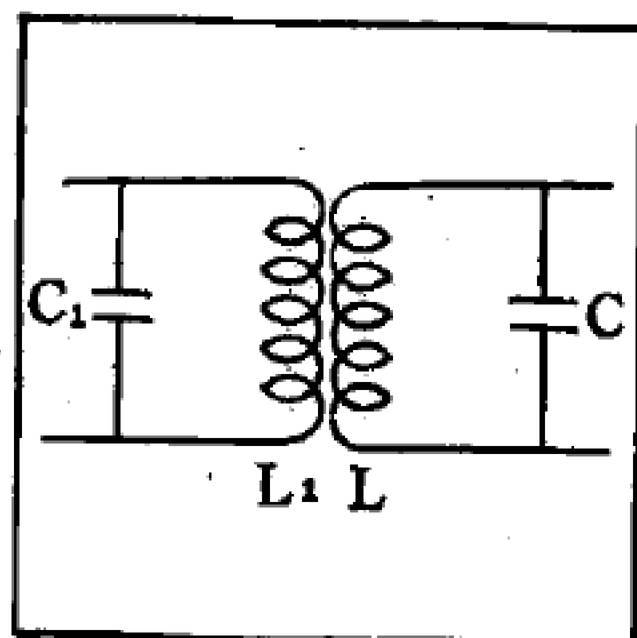


圖 4 — 22　中頻變壓器

比較高級的電報接收機，則採用超外差電路以增加對電臺的“選擇性”。其中頻變壓器只須針對一個固定而狹窄的中頻而設計。高級的電報接收機且更於中頻變壓器之外，加用“晶體”（ *crystal* ）濾波電路，使選擇性更加尖銳。

聲頻的寬度自 16 ～ 16,000 赫茲，人類語言範圍也達16 ～12,000 赫茲。廣播電臺至少要把語言的最高頻率完全播出，交響樂團的頻率再生範圍至少要高達 15,000 赫茲。因通常中波“調幅”（ *A.M.* ）式廣播，其頻帶限於 540 ～ 1,650 *KHz* 之間，爲能儘量多容納幾個電臺，美國的標準，規定每一 *AM* 廣播電臺，可在指定的載波頻率（ *carrier* ）左右各佔用 7.5 *KHz* 的“邊頻帶”（ *side band* ），我國的標準則限定邊頻帶爲左右 5 *KHz* 。“調頻”（ *F.M.* ）廣播電臺及電視臺的聲訊部分的頻帶寬度各爲左右 75 *KHz* 。這樣寬度的頻帶，一只中頻調諧式變壓器的任何一邊，都不可能容許其平勻完整地通過。至於電視圖訊部分的邊頻寬度則更高了。

爲了解決這一困難，必須要用一折衷的辦法。本來，調整一中頻變壓器的初級和次級的諧振程度及耦合係數，都可決定其能通過的頻帶寬度。現在若把中頻變壓器的耦合度儘可能加緊到一臨界點；同時再把中頻變壓器的初級和次級分別調諧到中頻的兩邊，例如一使用465 *KHz* 中頻的中波接收機，把中頻變壓器的初級調整到 460 *KHz*，其次級調整到 470 *KHz*，如此便可使左右各 5 *KHz* 的上下邊頻帶通過中頻變壓器，而輸出一 10 *KHz* 的頻帶訊號到後一中頻放大器或檢波級。

所須注意者，若中頻變壓器兼用鐵粉芯及半調整式電容器者，則在調整中頻變壓器的鐵粉芯以校正其耦合度時，將影響中頻變壓器調定的上下邊頻之頻率。所以必須反覆調節鐵粉芯與半可變電容器，以求彼此"補償"（*compensate*）而獲得滿意的效果。此種"反覆校正"的過程，稱爲 *aligning*，習慣上被誤譯爲校正。

在電視接收機的中頻部分，爲獲得更大的頻帶寬度，常在兩個串聯調諧電路間，使用電容器或電感器作直接耦合。

【中頻變壓器引線色符】（Intermediate frequency transformer lead color code）

RMA 的標準色符：屏——藍；*B*＋——紅；柵或二極管——綠；柵廻路——黑。

【中繼站】（Relay station）

超高頻率的無線電波是按直線傳播的，因此通訊距離不長。遠距離的超高頻率通訊，是靠加設中繼站來完成。中繼站內裝有兩套超高頻率收發機件和天線，將來往的訊號向兩個相反的方向接轉。只要多加中繼站，即能構成全球性的超高頻率通訊網。

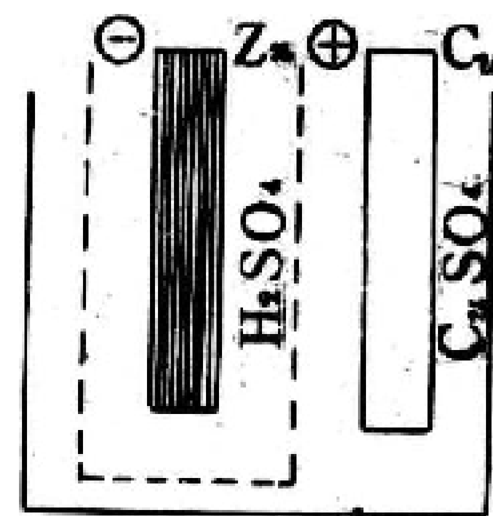


圖 4 — 23

【丹尼耳電池】（Daniell cell）

陶器或玻璃器中盛硫酸銅（$CuSO_4$）濃溶

液，器內立一圓筒狀的銅板，又置一盛有稀硫酸之素燒瓷筒於其中。更有一塗水銀的鋅棒，立於此筒中而成，銅板為陽極；鋅棒為陰極，此即丹尼耳電池。

【Ⅰ】構成

電極與伏特電池同；電解質（H_2SO_4）以生瓷筒盛之，置於飽和之 $CuSO_4$ 中（如圖 4—23 所示）。

【Ⅱ】作用

1. 筒內——$Zn^{++}+H_2SO_4\rightarrow ZnSO_4+2H^+$ （向杯外）
2. 筒外——$2H^++CuSO_4\rightarrow H_2SO_4+Cu^{++}$ （積於銅極）

【Ⅲ】電壓

約 1.08 伏特。

【Ⅳ】缺點

須常加入 $CuSO_4$ 晶體及水而傾出 $ZnSO_4$；且不用時，亦須常成通路（免致 $CuSO_4$ 透過瓷杯使鋅極生氧化銅之沈澱）。

【丹尼耳濕度計】（Daniell hydrometer）

是為測空氣濕度之儀器。其構造如圖 4—24 所示。A B 為聯於一曲玻璃管之二球，將其空氣排盡，A 球內半充醚。B 球及其餘空處，充滿醚之蒸氣，A 球內插入一溫度計，用以測定溫度之高低，全體裝置，需密封之，使與外界大氣不相通。用此器測濕度時，以布包 B 球，上撒醚，則醚蒸發而 B 球冷，其內之醚蒸氣凝結，A 球內壓力減小。醚蒸發奪去多量之熱，則溫度大降；於是

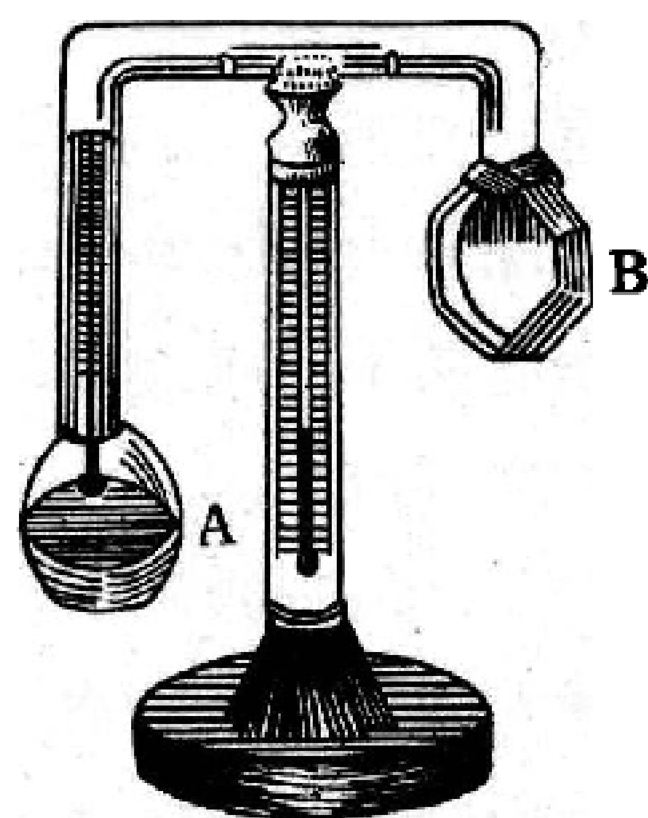


圖 4—24　丹尼耳濕度計

A 球附近之空氣中水蒸氣，由於接觸到 A 球表面，遂受冷而結為露，附著於 A 球之表面上，此時察 A 球內溫度計之溫度，則得當時濕氣之露點

。查表求對於 A 球內溫度計所示溫度之飽和水蒸氣壓力 P_1 ，復查表求對於其支柱上溫度計所示空氣溫度之飽和水蒸氣壓力 P_2 ，則 P_1 對於 P_2 之比 $\frac{P_1}{P_2}$ ，即爲所求之濕度。

【互斥力】(Repulsive force)

如圖 4 — 25 所示兩正電荷物體 A 和 B ，中間存有一電的斥力 F ，和重力的吸引方式相同，此力亦爲超距作用之一種，作用在二物體 A 、B 上而不與任何東西關聯。此斥力 F 稱爲互斥力。

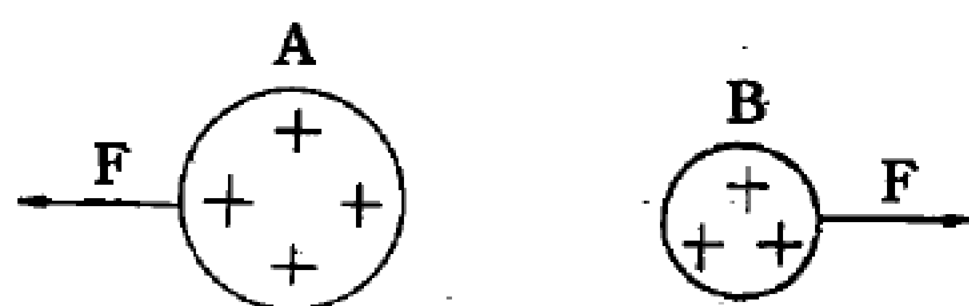


圖 4 — 25　互斥力

【互斥位能】(Repulsive potential)

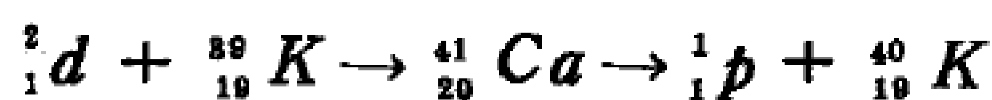
兩同性電荷彼此移近，由於互斥力的存在，必須作功，增加此系統之電位能，此電位能的改變即是經由所作之功而來，稱爲互斥位能。

【互阻抗】(Mutual impedance)

互阻抗就是介於兩環路之內的合阻抗。

【互易原理】(Reciprocity theorem)

在原子核反應中，不同核反應可形成同一複核 (*compound nucleus*) ，例如



$$ {}_{1}^{2}d + {}_{19}^{39}K \rightarrow {}_{20}^{41}Ca \rightarrow {}_{1}^{1}p + {}_{19}^{40}K $$

$$ {}_{1}^{1}p + {}_{19}^{40}K \rightarrow {}_{20}^{41}Ca \rightarrow {}_{1}^{2}d + {}_{19}^{39}K $$

以上前者核反應爲鉀 - 39 (d , p) 鉀 - 40 ，形成複核鈣 - 41 後放出質子；後者核反應爲鉀 - 40 (p , d) 鉀 - 39 ，形成複核鈣 - 41 後放出氘子。兩種核反應都形成同一複核鈣 - 41 ，並且其核反應前後物爲互易者，前者 (後者) 核反應即爲後者 (前者) 核反應的可逆過程。在此情形下，兩核反應的截面之關係如下：

$$K_d^2 \frac{\sigma_c(d)}{\Gamma_d} = K_p^2 \frac{\sigma_c(p)}{\Gamma_p}$$

式中K_d及K_p分別表示入射氘子及質子能量的波數（*wave number*），各形成複核的截面分別以$\sigma_c(d)$及$\sigma_c(p)$表示之，Γ_d表示後者核反應在複核衰變過程中放出氘子的機率，Γ_p表示前者核反應在複核衰變過程中放出質子的機率。上述兩核反應截面的關係式稱之爲互易原理。

例如鋁－27（$^{27}_{13}Al$）及鎂－24（$^{24}_{12}Mg$）均爲穩定元素，可供作實驗核靶用，以測得鋁－27（p,α）鎂－24核反應及鎂－24(α,p)鋁－27 核反應的截面。兩核反應均形成同一複核（矽－28），如調節入射質子及入射α粒子的能量，可使兩核反應形成複核矽－28 並達到同一能階。兩者核反應截面隨入射能量的變化情形，可用以驗證上述的互易原理。1952 年物理學家卡夫曼（*Kaufmann*）等人曾完成上述核反應的實驗，發現以上兩核反應截面隨入射能量變化的情形完全一致，如圖 4－26 所示。圖 4－26 中數字 9.990 *MeV*表示α粒子在原子核矽－28的結合能；11.588*MeV*表示最後一質子在原子核矽－28 的結合能，此兩數字上端的幾個尖峯表示形成複核矽－28 共振態的幾個能階。

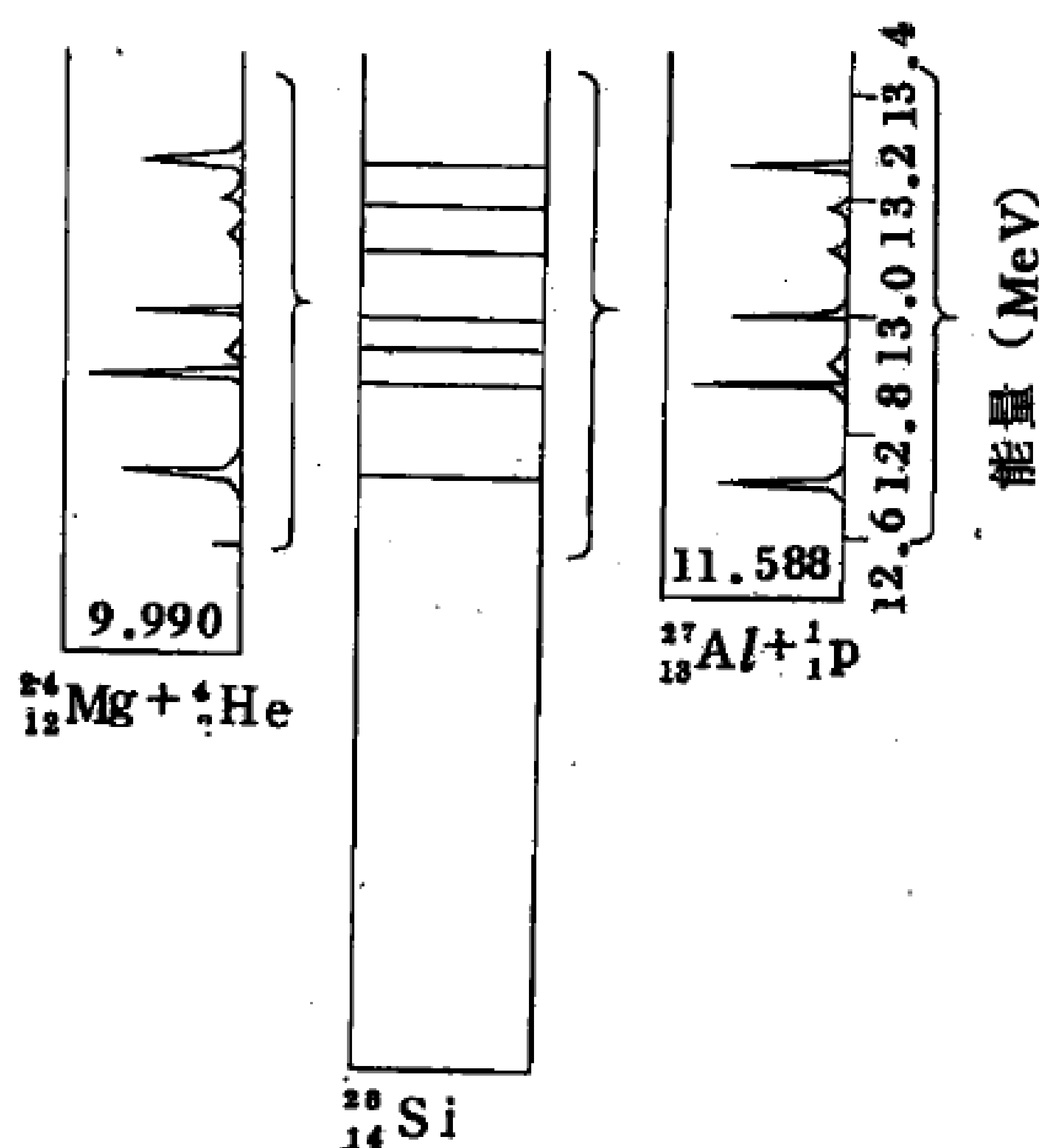


圖 4 — 26

【互易晶體格子】（ Reciprocal lattice ）

設$\vec{a}$，$\vec{b}$，$\vec{c}$為晶體的原始平移三向量，則

$$\vec{a}^* = \frac{\vec{b} \times \vec{c}}{\vec{a} \cdot (\vec{b} \times \vec{c})}$$

$$\vec{b}^* = \frac{\vec{c} \times \vec{a}}{\vec{a} \cdot (\vec{b} \times \vec{c})}$$

$$\vec{c}^* = \frac{\vec{a} \times \vec{b}}{\vec{a} \cdot (\vec{b} \times \vec{c})}$$

其中$\vec{a}^*$、$\vec{b}^*$、$\vec{c}^*$ 決定互易晶體格子。

【互相消滅】(Pair annihilation)

在基本粒子物理（ *elementary particle physics*)裏，我們知道一正子e^+與一電子e^-能互相消滅，而產生兩γ光，

$$e^+ + e^- \rightarrow \gamma_1 + \gamma_2$$

如果e^+及e^-的能量以及動量知道，則產生的γ_1、γ_2 之能量及其運動方向都可用相對論計算出來，γ_1、γ_2的總能量為

$$2m_e c^2 + (e^+ \text{及} e^- \text{的動能和})$$

【互逆自生模型】(Reciprocal bootstrap model)

在 1962 年丘（ *Chew* ）所提出的核子與三三共振態互生的模型，為粒子自生理論的先驅。丘將丘 - 婁模型（ *Chew - Low model* ）加以推廣，丘 - 婁模型僅考慮核子N與派子π的低能散射，解釋共振態△的存在。丘進一步考慮△與π的低能散射，他說明當他們交換一個虛△時，會在與核子的量子數相同的道中產生一束縛態，就是N，但在交換N時不產生束縛態。反過來說，N和π交換△也不產生共振態，但交換N時則在與△量子數（即同位旋＝自旋＝ 3/2 ）相同的道中產生共振態△。此模型又被推廣用以解釋其他基本粒子之間的關係，但迄今並未獲得有力的實驗證明。

【互通電話】(Intercom)

互通電話系統之英文全名爲（ *intercommunication system*，故通常簡稱爲 *Intercom* ）。用作兩點或兩點以上，相互間之口聲通信，其聲頻信號由電線傳遞，故通話距離受限制，很少超過幾里者，主要用於同一區域內各點間，或同一建築物內，房間與房間間之短程通話。

互通電話系統中之每一單體（或臺），主要只含有聲頻放大器一個，及其附屬之微音器及揚聲器，兩臺互通電話系統之連接如圖 4 — 27 所示。甲臺放大器之輸出，與乙臺之揚聲器相連接，反之乙臺放大器之輸出，接到甲臺之揚聲器，如是兩臺間即可維持通話。

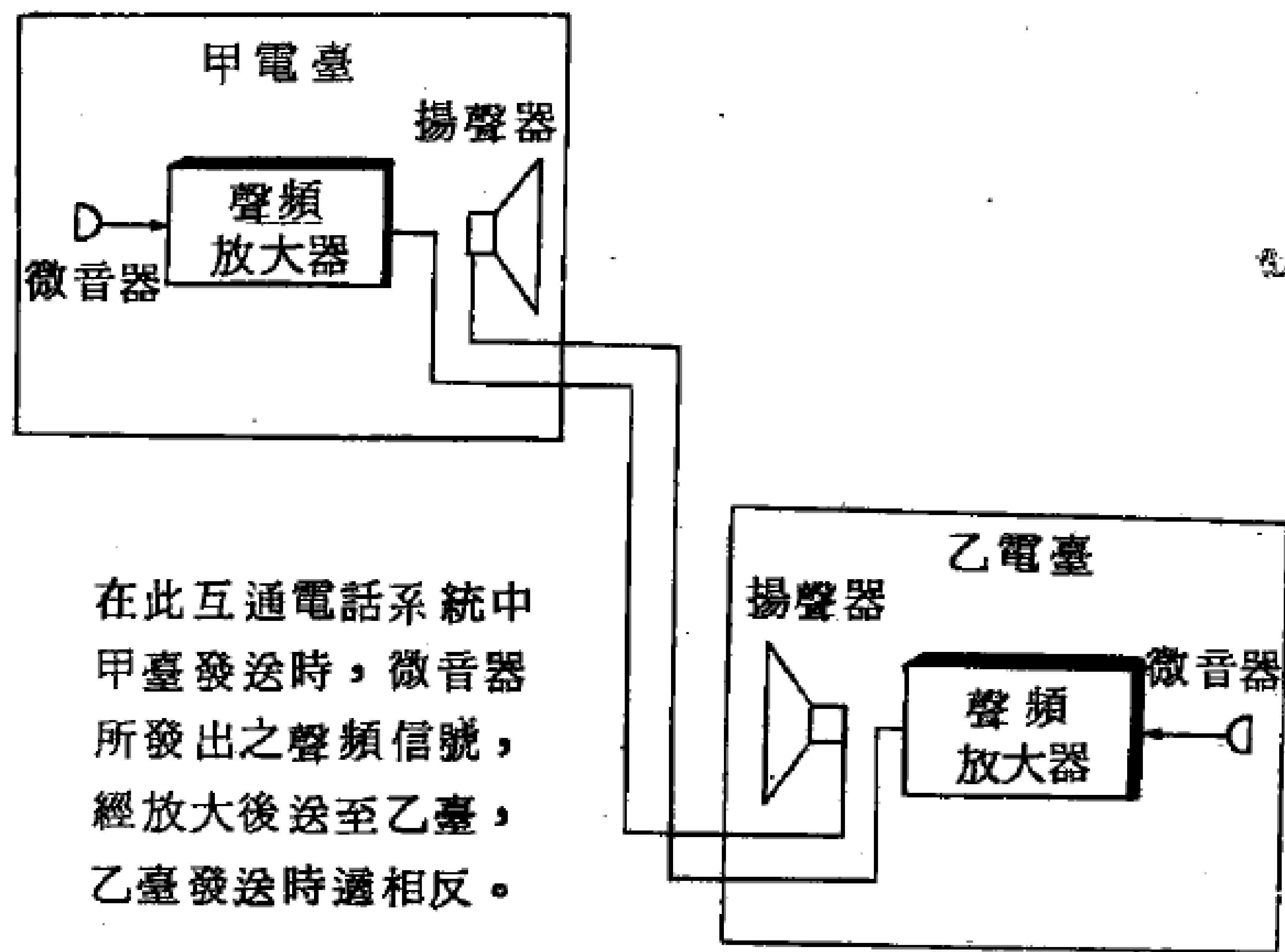


圖 4 — 27　互通電話系統

通常一個互通電話系統，都超過兩個臺，其情形自較上圖爲複雜，除增加臺與臺間之接線外，尙須裝設各種開關，使系統之使用，儘量保持彈性。

【互補色】（ Complementary colors ）

圖 4 — 28 所示，白光由稜鏡 P 所產生之光譜，用一屏 S_1 將其紅光擋住，其餘之色光則經過透鏡 L 集合於第二屏 S_2 上。可是在此屏上不

復生成如全部光譜色重合時之白色光斑，卻是一種藍綠色的光斑。但被遮擋的紅色則能與此藍綠色互補而成白色；故這兩種色光稱爲互補色。

如自光譜中隔除靛色部分，則其餘光譜色混合之後乃呈黃色。故靛色與黃色亦爲互補色，因其混合亦顯白色；但此種黃色乃屬靛色以外所有光譜色的混合色。但我們的眼睛不能將此種黃色和光譜色中之純黃色加以區分，故可由實驗求出每一種主色所屬的互補色。

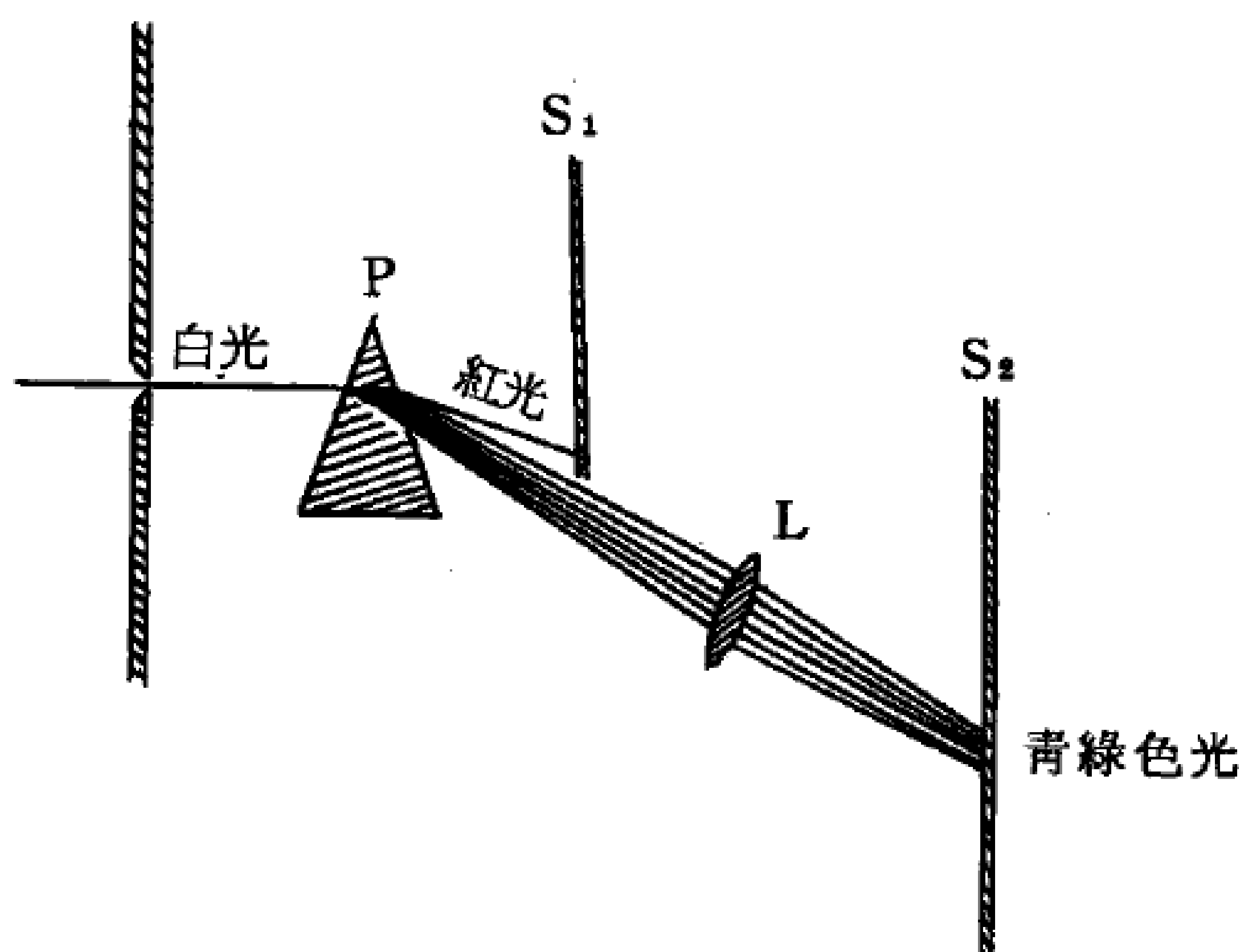


圖 4 — 28　互補色

如果兩種互補色都是純粹的單色，即當此兩互補色混合時無其餘之光譜色存在的話，則對我們的眼睛也會產生白色的印象。例如，以純粹的靛色與純粹的黃色，或以純粹的紅色與綠、藍之間任一純光譜色相混合時，就有這種情形發生。

因此，如數種色光能在眼中引起相同之色覺，則這些色光可能是單光，也可能是複光，甚至可能是以各種不同方式組成之複光；換句話說，人的眼睛缺乏自混合色中分辨單色的能力。

視神經對一種色光疲勞時，注視白紙所現之色即其互補色。如久視紅色，紅色視神經疲勞後，轉視白物，因紅色暫不能引起視覺，遂覺有另一色（藍綠）映現，亦即紅色之互補色。這是因爲眼睛對紅色看久了會有疲勞的感覺，故白色中存有的紅色對眼睛的影響減弱；結果，其餘光譜色之混合色反而作用轉強（意即紅色的互補色佔優勢），因此白牆

看上去會發綠了。

互補色可利用於攝映立體電影，以實體攝影機分攝紅綠二色影片，自二處同時放映，觀者戴紅、綠眼鏡二色像重疊於網膜即得黑白之立體幻覺。混合後會產生白色的二純光譜色，如下表所示：

顏　色	波長（Å）	互補色	波長（Å）
紅	6,562	綠　藍	4,921
橙	6,077	藍	4,897
金　黃	5,853	藍	4,854
黃	5,671	靛　藍	4,645
綠　黃	5,636	紫	4,330

【註】綠色沒有互補的光譜色。

【互補函數】（ Complementary function ）

微分方程 $(D^2 + a_1 D + a_2)\, y = f(x)$ 的解能寫爲

$$y = e^{r_2 x}\int e^{(r_1-r_2)x}\, p(x)\, \overline{dx} + c_1 e^{r_1 x} + c_2 e^{r_2 x}$$

其中 $\phi(x) = \int^x e^{-r_1 x} f(x)\, \overline{dx}$，$r_1, r_2$ 爲輔助方程式的解，上述的 $p(x)$ 與 y 的解皆稱爲互補函數。

【互補原理】（ Principle of complementarity ）

1928 年，丹麥物理學家波爾（ *N. Bohr* ）認爲原子現象的描述，不能如同古典動力學一樣，能夠完整而確定地描述運動體系。例如，古典動力學可以完整地描述運動中粒子的位置與動量；而這對共軛變數（或互補變數），在原子現象中是無法同時作確定的描述（它們相互抵觸），卻也相互補償；正如同是一物的兩面，雖然同時存在，但在同一時刻卻不能同時出現；我們只能描述它的一面。這個原理稱爲互補原理。

互補原理的出現，使我們對海森堡（ *Heisenberg* ）的測不準原理，以及量子力學的數學推演上的物理意義有更多一層的瞭解。尤其是對

原子體系的量度（ *measurement* ）上，能作更滿意的解釋；使原子現象與古典描述上建立起關係。最著名的例子，應該是光的二象性。湯木生（ *J.J. Thomson* ）的陰極射線實驗證實電子具有粒子的性質，德維生（ *Davission* ）及革末（ *Germer* ）的電子繞射實驗又認定電子有波的性質。因此，粒子性與波動性實際上都是電子的性質，這兩者是互補的。電子可以用具有能量 E 與動量 p 的粒子描述，也可以用波長爲 λ，頻率爲 ν 的無限波列描述，這種特性我們更可由德布洛利（ *De Broglie* ）方程式得到連繫，即

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

$$E = h\nu$$

式中 h 爲浦朗克常數，p 是動量，λ 爲波長，ν 爲頻率。

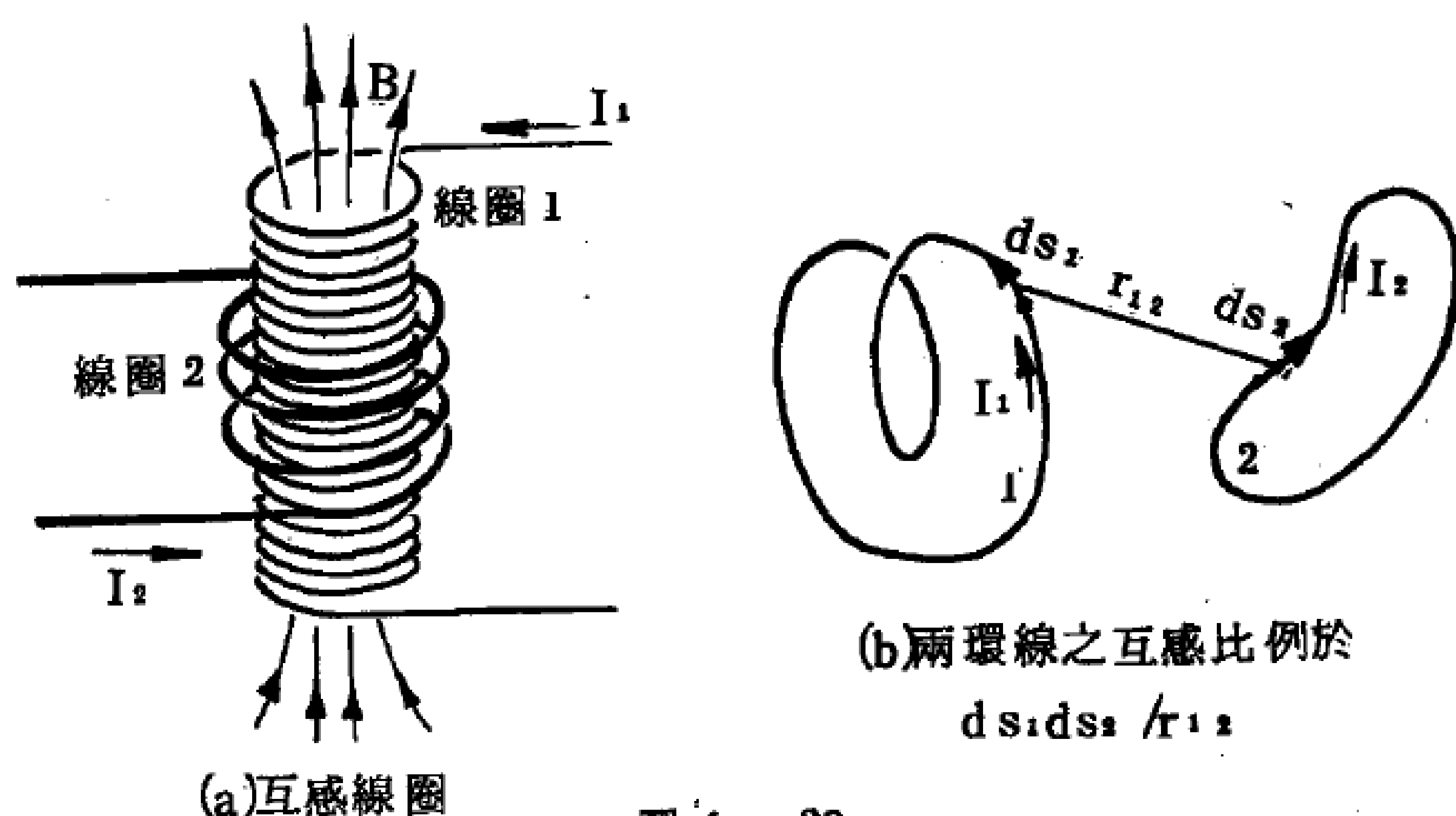
【互換定律】（ Law of exchange ）

當輻射達平衡狀態時，各熱體並未停止其輻射，而其所射出之熱量，與其所吸收之熱量適相等。

【互感】（ Mutual induction ）

即相互感應，兩個電路間的磁力作用。如果兩個電路的位置排列得使一個電路內的電流所產生的磁場能夠貫穿另一電路，則第一電路內電流強度的變化會使這個磁場發生變化，而由於電磁感應現象，也就使第二電路內發生了電動勢。第一電路的磁場貫穿第二電路的部分越大，則兩個電路之間的互感越強。

如圖 4 — 29 (*a*) 所示，線圈 1 與線圈 2 共軸地套在一起。當線圈 1 輸入電流時，它所建立的磁場亦包含在線圈 2 內，因此線圈 1 磁通量的變化即等於線圈 2 內的變化，如果線圈 1 之螺形管長爲 l，總圈數爲 N_1，橫截面積爲 A；線圈 2 總圈數爲 N_2，當線圈 1 輸入緩變電流 I_1，則線圈 2 之感應電動勢爲



(a)互感線圈

(b)兩環線之互感比例於 $ds_1 ds_2 / r_{12}$

圖 4 — 29

$$\varepsilon_2 = -(N_2/c)(d\Phi/dt)$$
$$= -\left(\frac{4\pi N_1 N_2 A}{c^2 l}\right)\frac{dI_1}{dt} \qquad (1)$$

此結果顯示，線圈 2 的感應電動勢與線圈 1 之電流變率成正比。此比例常數完全決定於兩組線圈的幾何關係。我們稱這個常數爲互感係數（*coefficient of mutual induction*）或互感（*mutual inductance*），而以M_{21}表示。（1）式可被改寫爲

$$\varepsilon_2 = -M_{21}\frac{dI_1}{dt} \qquad M_{21} = \frac{4\pi N_1 N_2 A}{c^2 l} \qquad (2)$$

互感的實用單位爲亨利（*henry*），即

$$1\text{亨利} = 1\frac{\text{伏特}}{\text{安培/秒}} = 1\text{歐姆秒}$$

如果利用高斯單位，則爲 sec^2/cm，$1\ henry = 0.975 \times 10^{12}\ sec^2/cm$。簡言之，兩電路的相互感應量在數值上等於當第一電路內電流強度的變化爲每秒一安培時，第二電路中所發生的電動勢（以伏特爲單位）。

從（2）式我們知道，如果線圈 1 電流變率是負的，則線圈 2 的磁

通量就隨著減少，因此感應電流的方向，是沿著反抗磁通量減少的方向，如圖 4 — 29(*a*) 所示。

相反地，如果電流輸入線圈 2，則線圈 1 的電動勢即利用線圈 2 建立的磁場，計算線圈 1 之磁通量變率。根據與（1）式相似的推論，我們會發現線圈 1 的感應電動勢亦與線圈 2 之電流變率成正比，故

$$\varepsilon_1 = -M_{12}\frac{dI_2}{dt} \qquad (3)$$

由於線圈 $N_1 > N_2$ 的關係，M_{12} 遠比 M_{21} 難於直接計算，不過我們可廣泛地證明 M_{12} 與 M_{21} 相等，並且兩線圈的互感只與兩者的幾何相對位置有關。設圖 4 — 29(*b*) 所示之環線 C_1 及 C_2，分別具有電流 I_1 及 I_2，而且這些電流是在緩慢地改變著，則環線 C_1 的感應電動勢可被寫爲

$$\varepsilon_1 = -\frac{1}{c}\frac{d}{dt}\int_{s1} B\cdot\hat{n}\,da = -\frac{1}{c}\frac{d}{dt}\int_{s1}(\nabla\times A)\cdot\hat{n}\,da \qquad (4)$$

S_1 是 C_1 所包圍的曲面，其面積單元 da 的法線方向爲 $\hat{n}$，而 A 爲向量位。利用司托克士定理（*Stroke's theorem*），我們可將（4）式簡化爲

$$\varepsilon_1 = -\frac{1}{c}\frac{d}{dt}\oint_{c_1} A\cdot ds_1 \qquad (5)$$

然而根據向量位（*vector potential*）的定義，知 C_2 環線（帶電流 I_2）在 ds_1 處所建立的向量位爲

$$A = \frac{1}{c}\oint_{c2}\frac{I_2\,ds_2}{r_{12}} \qquad (6)$$

聯合（5）式與（6）式，可知環線 C_1 的電動勢爲

$$\varepsilon_1 = -\frac{1}{c^2}\frac{d}{dt}\oint_{c1}\oint_{c2}\frac{I_2\,ds_1\cdot ds_2}{r_{12}}$$

$$= -\left\{\frac{1}{c^2}\oint_{c1}\oint_{c2}\frac{ds_1\cdot ds_2}{r_{12}}\right\}\left(\frac{dI_2}{dt}\right)$$

換言之，互感可被寫爲

$$M_{12} = +\frac{1}{c^2}\oint_{c1}\oint_{c2}\frac{ds_1 \cdot ds_2}{r_{12}}$$

這就是諾以曼公式（*Neumann's formula*）。此式明白指出，互感僅決定於環線之幾何狀態。讀者可仿傚此法，證明

$$M_{21} = +\frac{1}{c^2}\oint_{c2}\oint_{c1}\frac{ds_1 \cdot ds_2}{r_{21}} = M_{12} = M$$

這就是互易定理（*reciprocity theorem*）。

【互感係數】（Coefficient of mutual induction）

詳閱"互感（*Mutual induction*）"條。

【互感電動勢】（Mutual induced electromotive force）

互感電動勢之大小與原線圈上電流之變率成正比：

$$E_m \propto \frac{dI}{dt} \qquad \therefore \quad E_m = -M\frac{dI}{dt}$$

式中M稱爲互感係數（*coefficient of mutual induction or mutual inductance*），其單位爲亨利，互感係數之值視兩線圈之形狀及其相對位置而定。

【互感橋】（Mutual inductance bridge）

能決定變壓器轉數比之電橋。

【互感應】（Mutual induction）

兩線圈相距甚近時，一線圈上的電流將在另一線圈內產生磁通量。若改變電流以改變磁通量，依照法拉第定律，則第二線圈上會產生感應電動勢，這種現象稱爲互感應。

【互載波檢波】（Intercarrier detection）

在電視接收機中，見像檢波器如圖 4 — 30 所示，有兩個作用：(1)見像信號之檢波，(2)產生互載波之聲音 *I.F.* 信號。見像檢波器可以解調見像信號，但不能解調聲音信號。同時在此時尚不能作聲音之解調，

因爲它能干擾圖像。因見像 *I.F.* 載波與聲音 *I.F.* 載波之間隔爲 4.5 *MHz*，將此兩載波在檢波器之兩極管內互相拍差，即可產生一 4.5*MHz*（差頻率）載波之 *F.M.* 互載波之聲音 *I.F.* 信號。從圖 4－30 主 *I.F.* 級之響應曲線可以看出，聲音 *I.F.* 之增益極小，而見像 *I.F.* 之增益較大。

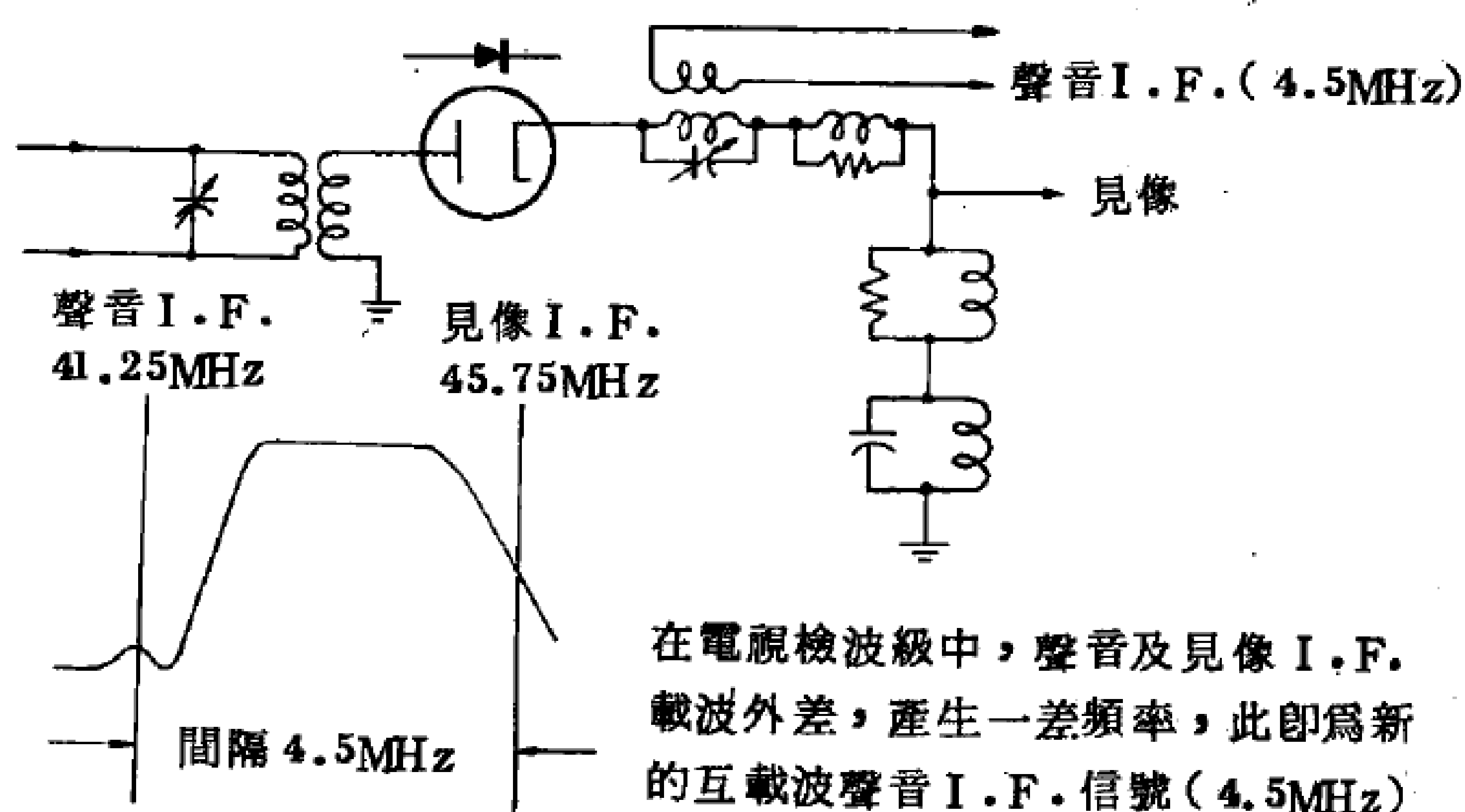


圖 4 — 30

當聲頻及見像信號到達見像檢波級時，聲音 *I.F.* 之波幅通常只有見像 *I.F.* 振幅之 2 ～ 5%。此因聲音 *I.F.* 載波完全工作於兩極管工作曲線之非直線部分，故能與見像 *I.F.* 載波外差，而將其調制轉換至其差頻率 4.5 *MHz* 之上。但見像 *I.F.* 載波之波幅大，工作於兩極管曲線之直線部分，所以它的振幅調制不參加外差，見像不會干擾聲音，此 4.5 *MHz* 之互載波聲音 *I.F.* 信號在檢波器之輸出取得後，送到聲頻之 *I.F.* 級。

【互導】（Mutual conductance）

用以表示電子管中，柵極與屏極間的關係常數，稱爲互導，其符號爲 g_m 。互導在電子管的三個特性常數中，是最重要的一個，由於互導的大小，可知柵極電壓對屏極電流以及輸出信號（ *output signal* ）的

影響。其定義：當屏極電壓爲一定時，屏極電流的變化量，與柵極電壓變化量的比。其公式如下：

$$\text{互導}\ g_m = \frac{\Delta\ I_b}{\Delta\ E_c}\ (\ E_b = \text{定值}\ )$$

因爲互導是電流與電壓之比，其形式與電導（ *conductance* ）相同，所以以姆歐（ *mho or* ℧ ）做單位。但姆歐的單位，對互導而言太大，通常均用百萬分之一姆歐（即微姆歐 μ ℧ ）爲實用單位。如果一電子管的柵極電壓變化 1 伏特，而產生 2 毫安培的屏極電流變化，其互導等於：

$$\text{互導}\ g_m = \frac{2\text{毫安培}}{1\text{伏特}} = \frac{0.002\text{安培}}{1\text{伏特}} \times 10^6$$

$$= 2{,}000\ \text{微姆歐}$$

放大因數、屏極內阻與互導，此三特性常數互相間，有不可分的關係存在。放大因數除以屏極內阻，就可得互導，數學證明如下：

$$\frac{\mu}{r_p} = \frac{\Delta\ E_b\ /\ \Delta\ E_c}{\Delta\ E_b\ /\ \Delta\ I_b} = \frac{\Delta\ I_b}{\Delta\ E_c} = g_m$$

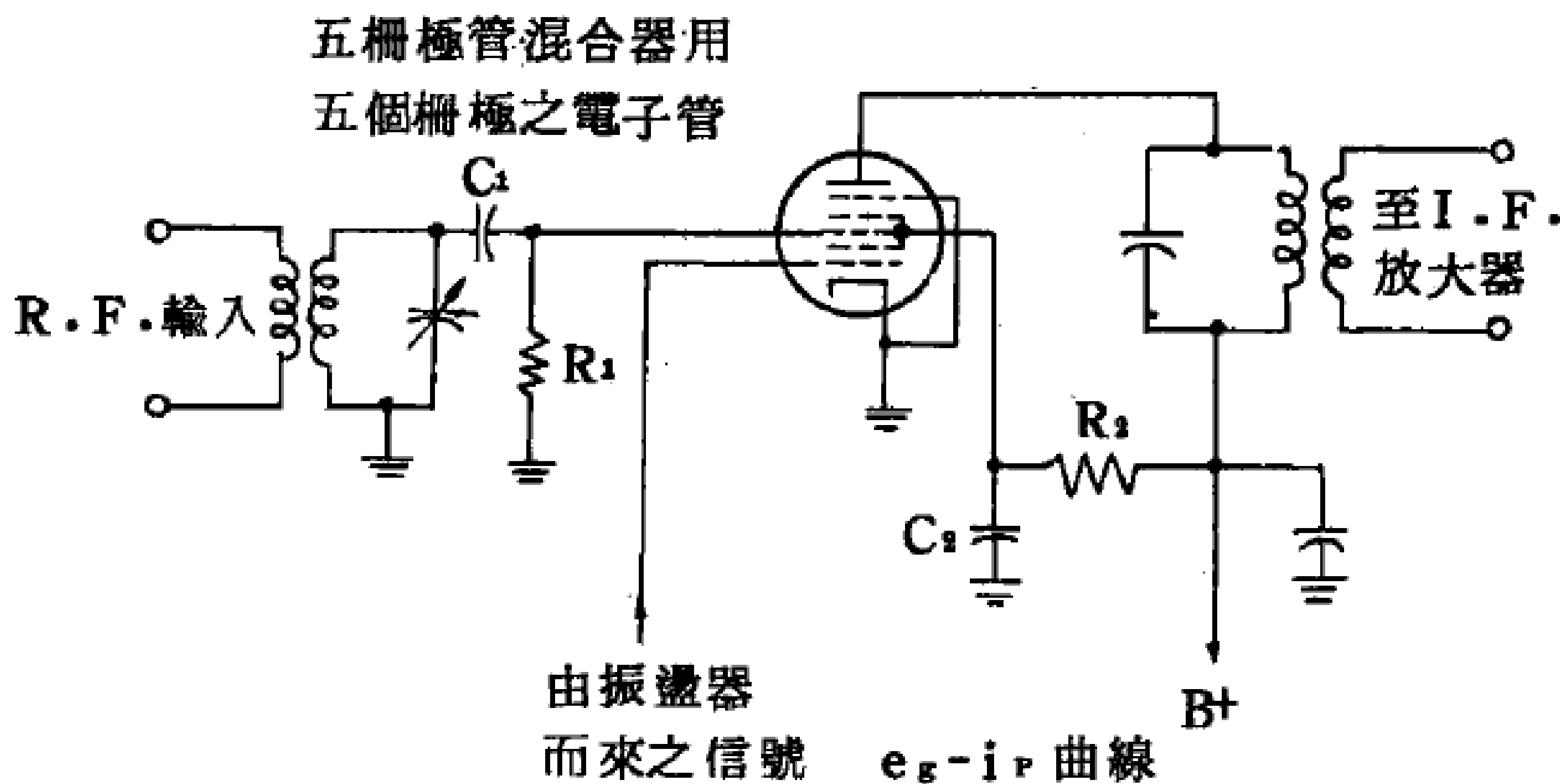
因此 $g_m = \mu\ /\ r_p$ ， $\mu = g_m \times r_p$ ， $r_p = \mu\ /\ g_m$ 。

如果電子管的兩個特性常數已知，當然可用上列的關係式，求出第三個特性常數。而互導通常被用來作爲同類電子管，相互比較時的靈敏值（ *figure of merit* ）。其道理非常簡單，因互導就是放大因數與屏極內阻的比值，爲了從微小的柵極輸入信號（ *input signal* ）電壓，獲得較大的屏極輸出電壓（ *output voltage* ），高放大因數是有必要的。再者，較小的屏極內阻，可得較大的屏極電流，以及較大的輸出功率（ *output power* ）。所以可由互導的大小，知道電子管的電壓與功率放大性能。但對設計電子管的工程師而言，增大互導並非一件簡單的事，因爲增大互導，必須增大放大因數，但放大因數增大的同時，屏極

內阻也會增加，這就是由於三特性常數間，有不可分的關係存在所造成的。互導除了作特性指數外，並可利用試管儀（ *tube tester* ），求得電子管之互導，以與其額定值作一比較，以了解此管的性能如何。

【五柵極管混頻器】（ Pentagrid mixers ）

五柵極管都用於轉換器電路之中，但有時亦有用作混頻器者。五柵極管混頻器除陰極及屏極以外，有五個柵極。振盪器之信號加於最靠近陰極之第一柵極， *R. F.* 信號則加於第三柵極。第二柵極爲簾柵極，用作振盪器信號及 *R. F.* 信號柵極之遮蔽。第四、第五柵極之作用，與一般五極管內之簾柵極及遏止柵極相同。



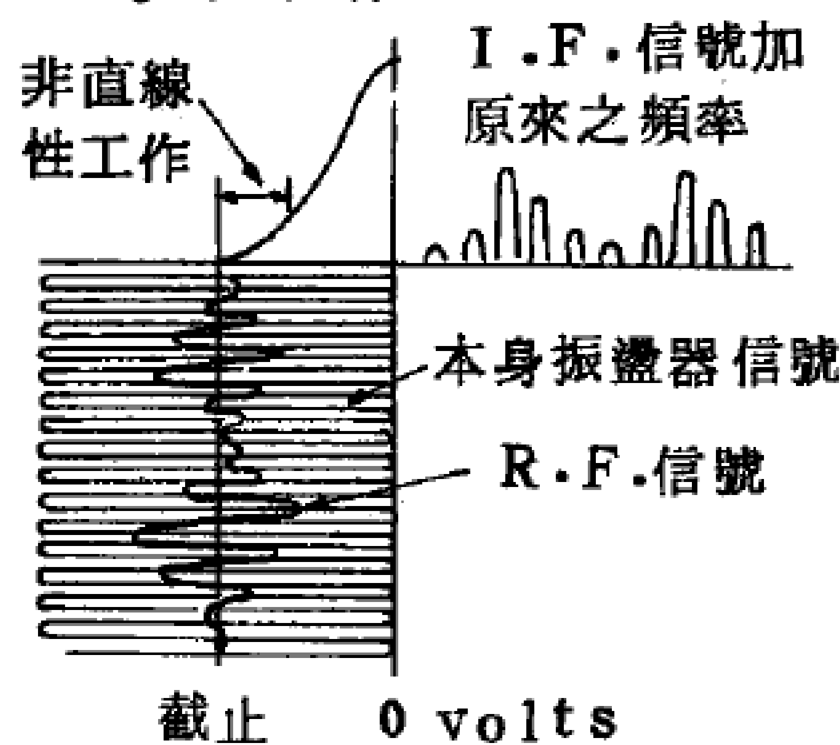


圖 4 — 31

因R.F.信號及本身振盪器之信號分別加於分開之柵極上，故本身振盪器之曳移作用小，因各柵極分開，所以挿入振盪器之信號可以較大，俾獲得一較大之轉換增益，五柵極管混頻器之工作與三極管及五極管混頻器相同

圖4—31所示爲一制式之五柵極管混頻器電路，亦有些電路將兩個輸入信號之挿入點互相對調。此兩信號之外差，在管內流動之共同電子流中發生，第一簾柵極上之正電壓將振盪器之柵極與信號柵極相隔絕，第二

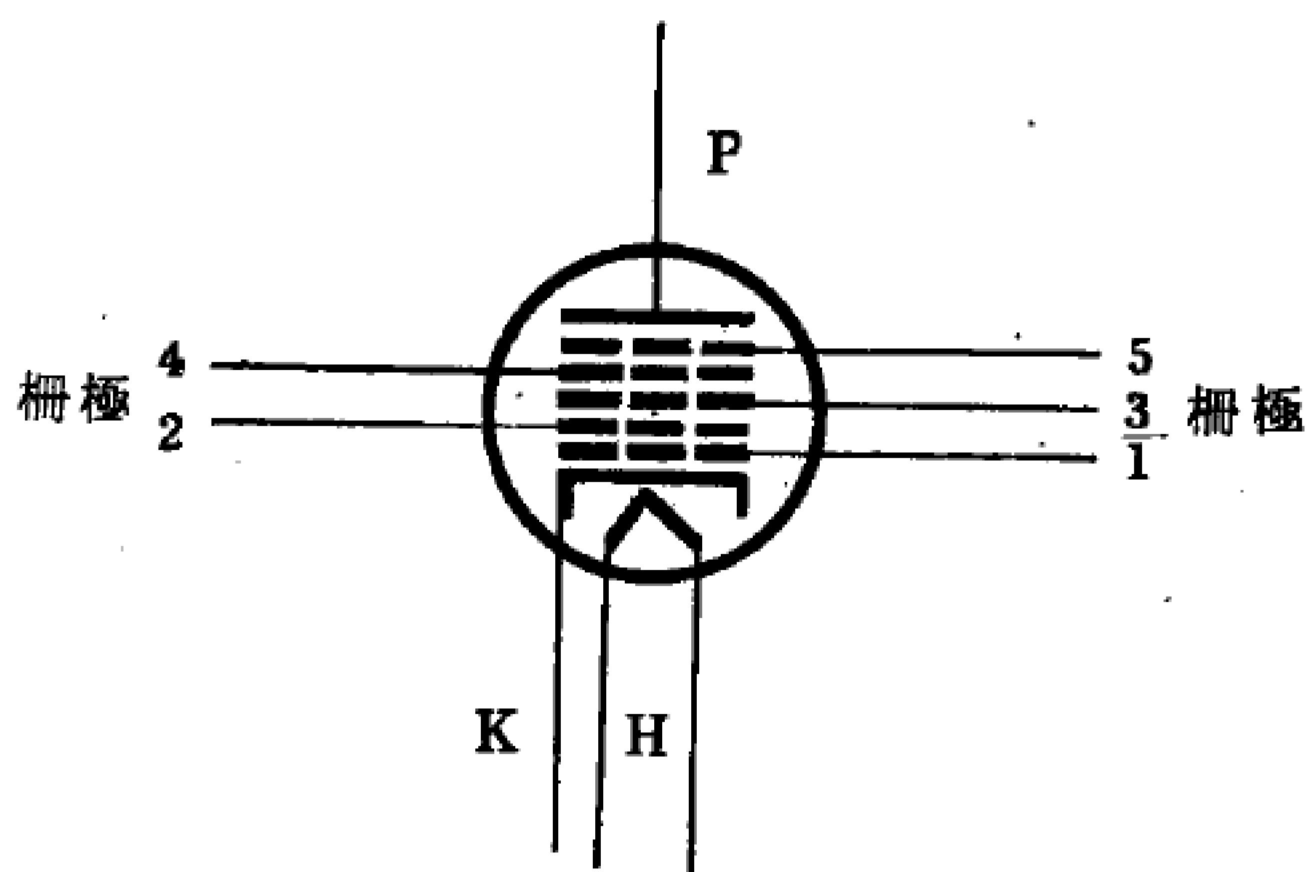
簾柵極則將信號柵極與屏極相隔絕。

五柵極管混頻器之增益極高，但由於柵極多，噪音亦多。

【五柵管】(Pentagrid tube)

即七極管具有五個柵極(*five-grid*)之電子管，通稱五柵管。爲常用之多極管。例如6*A*8 即是，其內部構造情況如圖4—32 所示。其柵極以數字表示，依距陰極距離而編號

其較多之柵極，可以輪送或混合施入信號。如以第二柵極荷正電位，第一柵極爲控制柵極，則第一及第二柵極與陰極可視爲三極管。若第三及第五柵極相連，且以第四柵極視作控制柵極，則第三、第四、第五柵極，與陰極屏極可視爲四極管，如是信號由第一及第四柵極輸入，可在管內混合。



P屏極； K陰極； H燈絲

圖 4—32

故七極管或五柵管常用於超外差式接收機中，擔任變頻器(*pentagrid-converter*)或混頻器(*mixer*)。其性能相當於二個單管之功效。按此管之三極管部分連結成一振盪器(*oscillator*)，混合輸入射頻信號(*R.F. signal*) 至四極管部分，可作頻率之改變，故名爲五柵變頻管(*pentagrid-converter tube*)。

【五柵變頻管】(Pentagrid-converter tube)

五極管中再加入兩個柵極，就稱五柵管，五柵管專任超外差機變換頻率工作，將接收信號與本機所產生的振盪頻率混合成新的頻率(中頻)。

參閱“五柵管(*Pentagrid tube*)”條。

【五極管】(Pentode)

有五個電極(陰極、屏極和三個柵極)的電子管。其構造如圖4—33所示，表示符號如圖4—34。

由於二次放射現象使電子管的屏極放射出二次電子。如果電子管屏極電路內的電流強度發生很大的變化，則由於屏極負載上的電壓降，電子管屏極上的電壓就會在很大的範圍內變化。在某些時刻內，屏極上的電壓就會小於簾柵極上的電壓(簾柵極上的電壓雖然小於屏極上的直流電壓，然而它卻是

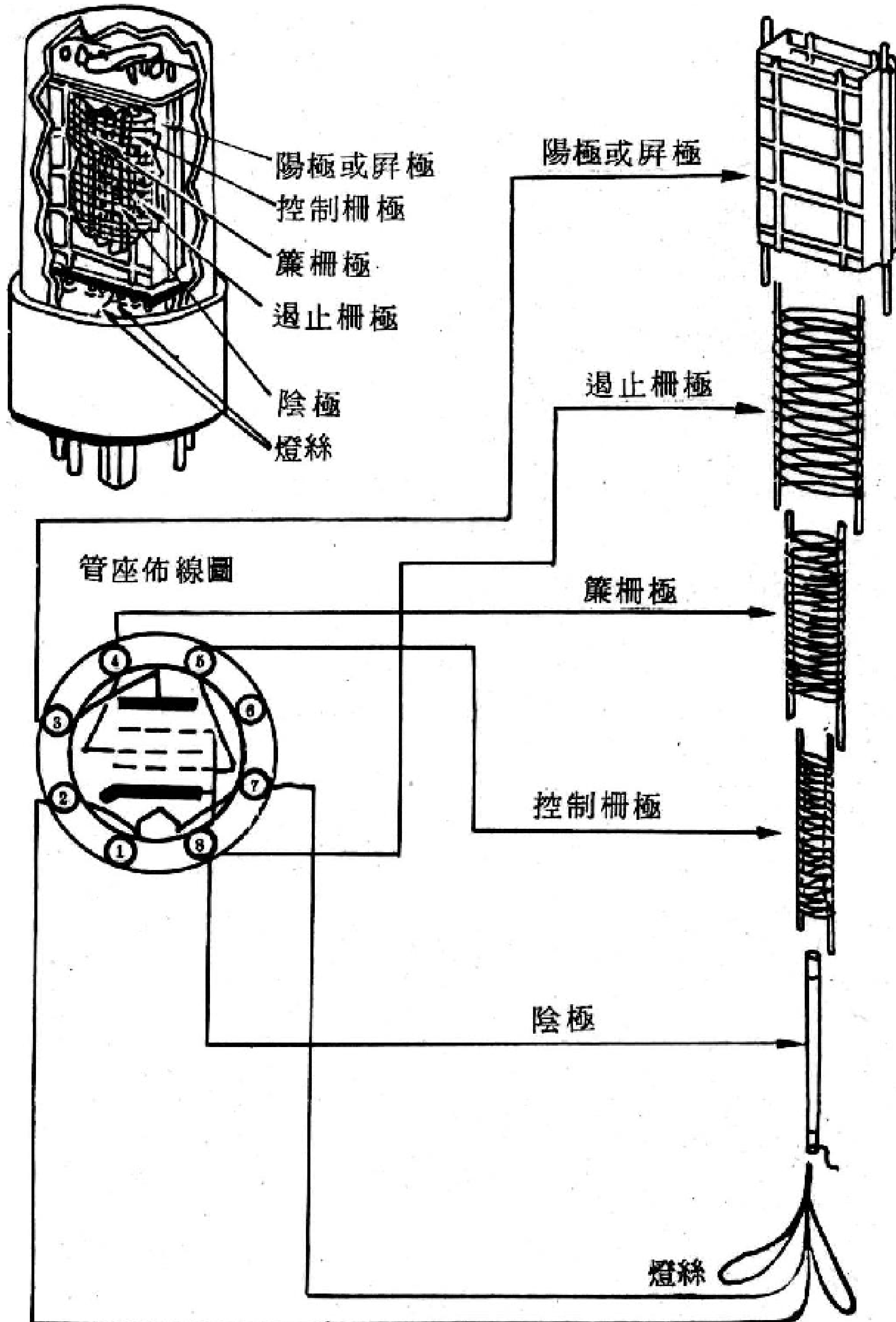
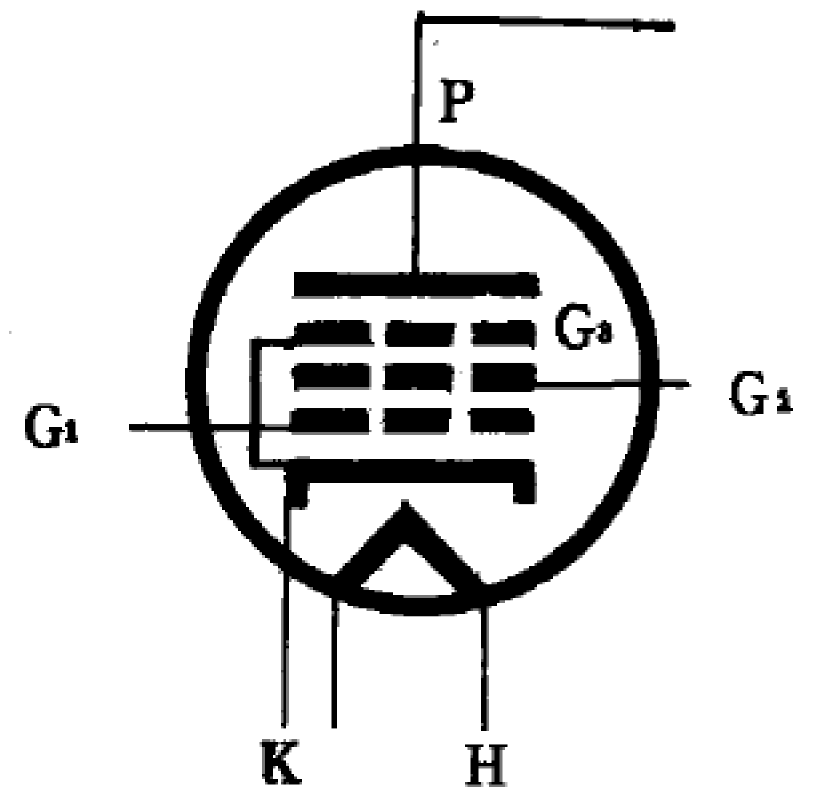


圖4—33　典型五極管的構造

固定不變的）。由於這個緣故，屏極發出的二次電子便將被吸至簾柵極，於是就發生了所謂負阻管效應，使電子管的正常工作受到破壞。這種狀況阻礙著利用四極管來獲取很大的電壓放大。因此四極管發明後不久即有五極管之發明，以消除其缺點。在五極管內採用了遏止柵極（抑制柵極 *supressor grid*）。由於柵極與陰極直接連接在一起，而屏極對陰極永遠是具有正電壓，所以在遏止柵極與屏極之間的空間電場，就會使由屏極發出的二次電子仍舊回到屏極。遏止柵極與其他二柵極構造相似，作成網狀以便電子通過。



P 屏極； H 燈絲； K 陰極
G_1 控制柵極；G_2 簾柵極；G_3 遏止柵極
圖 4 — 34 五極管的符號

五極管各電極之作用如下：陰極 *K* 爲零電位，職司放射電子。控制柵極（或第一柵極）爲負電位，職司控制電子流與放大訊號。簾柵極（或第二柵極）爲低於屏極之正電位。用以控制電子流並使其加速。遏止柵極（或第三柵極）爲零電位，用以排斥屏極二次放射電子使回屏極，雖不能停止二次發射，但可阻止二次電子走向簾柵極，而免除二次放射所生之弊端（失眞）。又遏止柵極並不影響一次電子到達屏極，因爲一次電子之流通，幾乎全靠簾柵及控制柵之電壓而定。屏極爲正電位，用以吸引電子而生屏流。

遏止柵也增加了屏極與控制柵間的隔離作用，因此五極管的放大因數與屏極內阻都特高，而其互導則與三極管及四極管差不多。

五極管的效率及輸出，都較三極管與四極管大。

【五極管之常數】（Tube constants）

五極管與其他電子管一樣，亦由三個電子管常數以表示其特性，即放大係數（μ），屏極內阻（r_p）及互導（g_m）。放大係數爲電子管

產生相同之屏流變化時，屏壓及柵偏壓之比。從五極管特性曲線的可用平直部分，看出屏極電壓變化雖然甚大，但屏流之變化仍甚小。反之如變化控制柵極電壓，則屏流之變化極大。所以五極管之放大係數很大。一種制式五極管之μ約爲1,500，平均較三極管大100倍，較四極管大3至4倍。

五極管之交流屏阻亦甚高，百萬歐姆者並不少見，平均較三極管大100倍。三極管及五極管之屏阻，成爲我們選擇電子管的主要因素。

五極管之放大係數雖大，但由於屏阻甚大，從三常數公式$g_m = \mu / r_p$可以看出，其互導仍與三極管相倣。

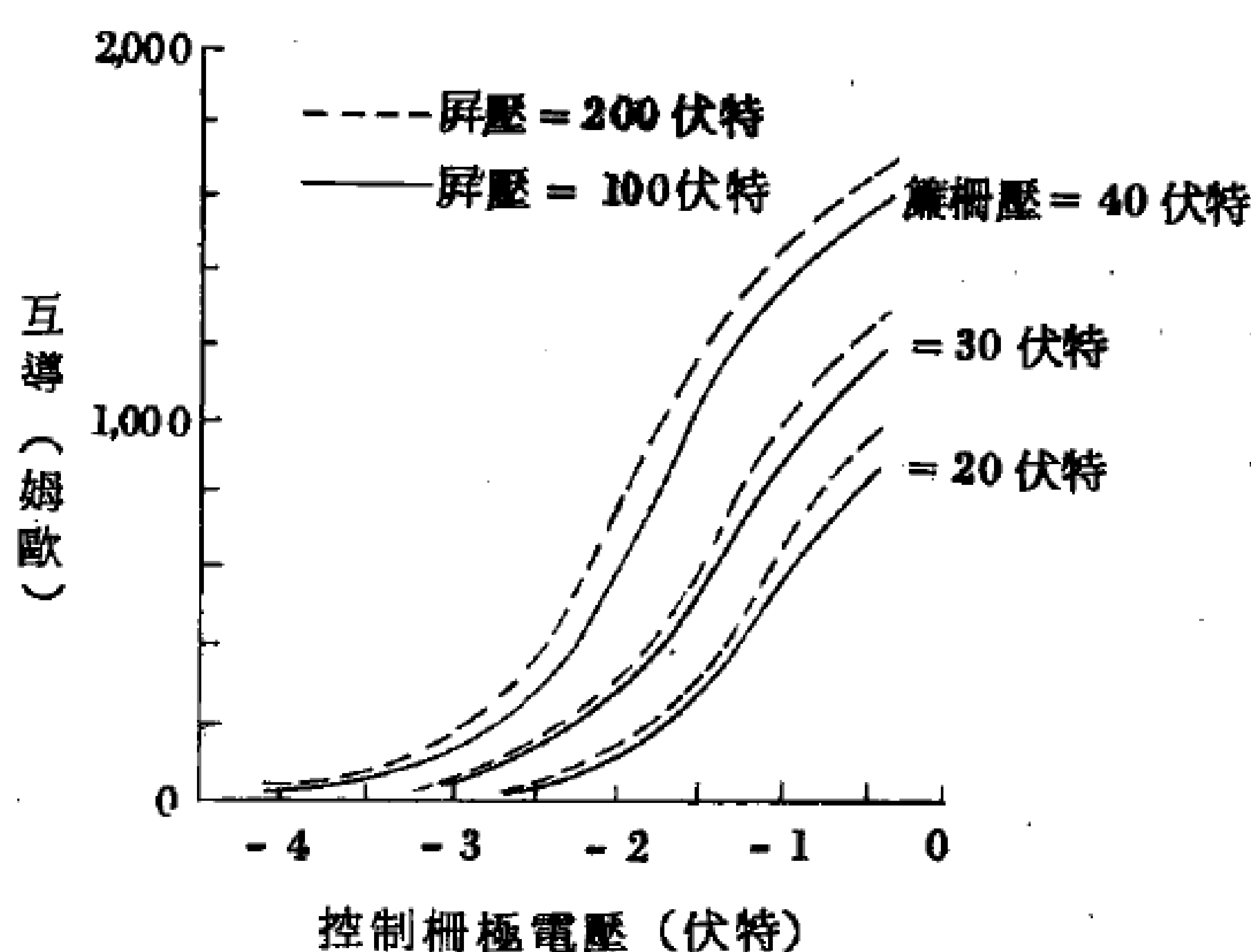


圖 4 — 35

從圖4—35可以看出，在屏壓及簾柵壓高，而控制柵壓低時，五極管之互導最大。

【五極管混頻器】(Pentode mixers)

五極管混頻器（如圖4—36所示）之高頻特性較三極管混頻器爲佳。五極管混頻器高頻優點之一，爲不需要中和。在低工作頻率時三極管亦不需要中和。但在高頻率時，振盪器及$R.F.$信號之頻率，就頻率比而言，比較接近，使屏流中含有大量的高頻，屏極負荷阻抗在$R.F.$頻率時更爲顯著。除非使用傳統方法加以中和，否則即會產調屏調柵之振盪。在五極管混頻器內，由於極際電容量小，即不會發生此一問題。

五極管混頻器之工作情形與三極管混頻器一樣，五極管混頻器之增益較三極管混頻器者更高，但電子管噪音則較大。如將振盪器信號加於五極管混頻器之柵極，其噪音之情況，較加於陰極時爲佳。五極管混頻器與其他混頻器一樣，*R.F.* 信號亦必須完全工作於曲線之非直線部分。

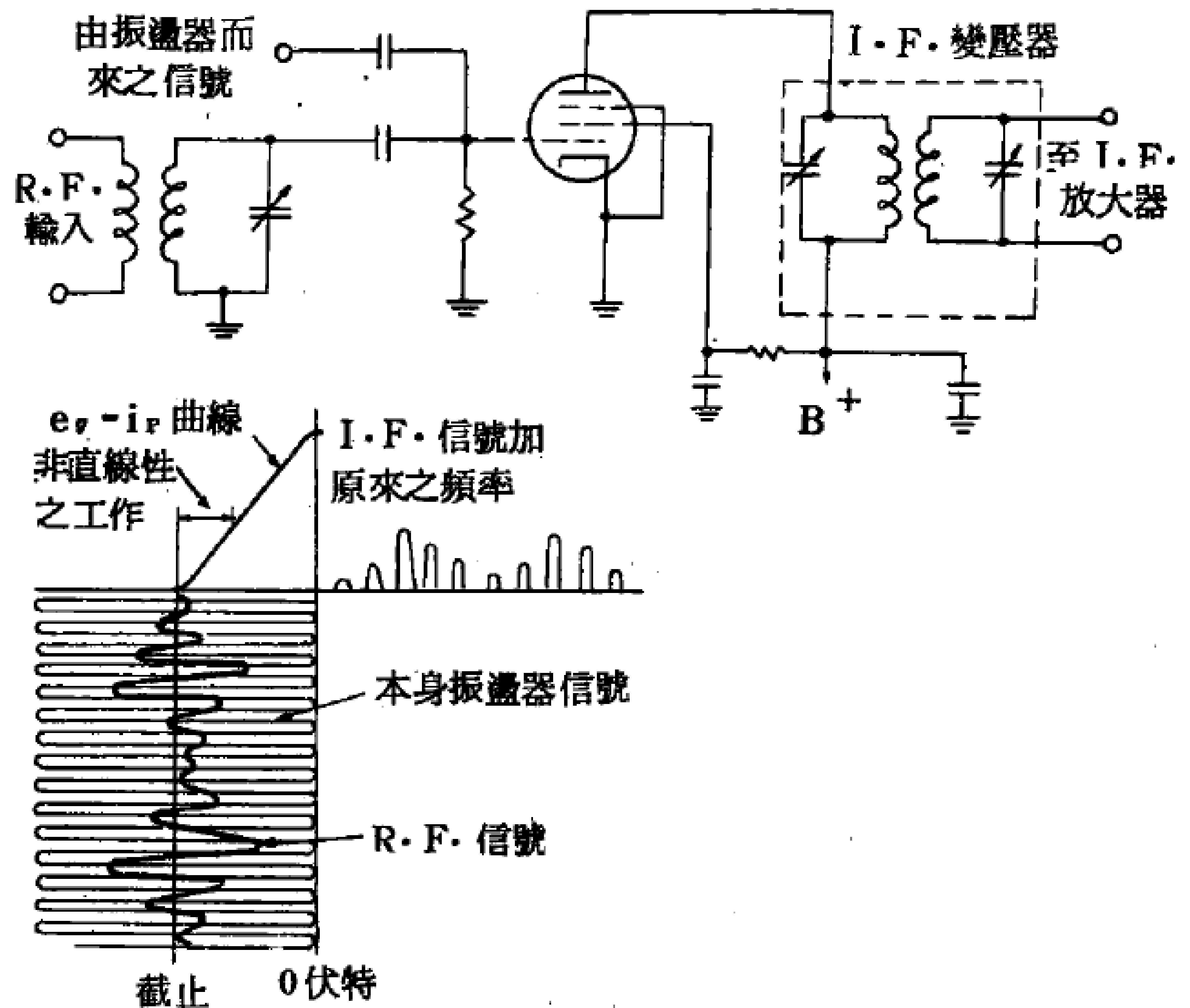


圖 4 — 36

【仄塔熱核反應器】(Zeta machine)

一種熱核反應實驗裝置，在環形室內產生離子體，並用揑縮效應加熱與壓縮。

【介子】(Mesons)

在較早的三十年代，物理學家們對組成物質的幾個粒子感到滿意。中子和原子構成了原子核，電子包圍在原子核的外圍，而微中子 (*neutrino*) 的發現在當時卻被認爲是問題質點，但是在 1932 年，一個日本的物理學家湯川秀樹 (*Hideki Yukawa*) 發表了一令人頭痛的論文，他說在原子核內有一自然的內聚力存在。湯川認爲這些力是由核內的新粒子所產生的，而這些新粒子不時在中子或質子間互相轉換。湯川的

觀念是原子核中核子間的吸引力就像兩隻狗爭著佔有一新的可口粒子一般，這些新的粒子可為電荷中性，帶正電或帶負電。

湯川並且指出，為了要滿足我們對已知核子性質所觀察到的特性，必須假設這些新粒子的重量是介於一個質子和一個電子的重量之間，大約200倍於電子的重量10倍輕於質子的重量。起初沒人相信這暫時被叫做"湯子"（*yukons*）的存在，直到二年後一個加州理工學院的物理學家安得生（*Carl D. Anderson*）在宇宙射線照射著大氣層上半中發現了如湯川所假設重量相同的帶正電或帶負電的粒子，湯川的觀念才被接受了。

雖然新粒子被發現了，但它的名稱卻是經過數度的演化而成。它有時被稱做重電子（*heavy electron*），有時被稱為輕質子（*light proton*），然後有人建議定名為"*mesotron*"它是從希臘字中*mesos*（為兩者所共有之意）演繹而來，在不希望新粒子的名稱和*maison*（法語是「家」的意思）互相混淆不清，最後湯川的新粒子名稱終被確定為介子（*mesons*）。

因為要算出質子和質子、質子和中子及中子和中子之間的束縛力，所以湯川又假設有正介子、負介子及中性介子的存在。

自湯川發表了他的理論以後兩年，加州技術學院的安得生和尼德梅爾（*Seth H. Neddermoyer*）從磁場內雲霧室的照相紀錄中，第一次發現了介子，曝光地點是科羅拉多州的派克峯（*Pike's peak*）上（14,108呎）。他們發現有些短的軌跡須歸因於重的荷正電粒子，但是從軌跡在磁場中的曲率、長度和水滴密度等決定質量的因素可推斷該粒子必定遠重於電子，可是卻較質子輕，因此斷定它是一種新的粒子。它荷有正電而質量約為電子的200倍。今日公認的數字為210倍。哈佛大學的司屈特（*J. C. Street*）及史蒂文生（*E. C. Stevenson*）亦都發現了介子。但仍感困難是看到介子沒有被原子核吸收

的現象，這和介子和核內束縛力有關的說法不符。

十年以後，即 1947 年，羅契斯特大學（*University of Rochester*）的馬薩克（*Robert E. Marshak*）解決了這問題。他認爲十年以前發現的介子，不是屬於原子核中的介子，那只是由較重的介子衰變而來的輕介子。根據此說，較重的介子出現在地球大氣層的高處，在那裏被宇宙射線把它們自原子核中轟出來。而衰變的產物即輕介子，則被發現在大氣層中的較低之處。

馬薩克的說法提出了幾星期以後，包維爾（*C. F. Powell*）、歐可亞里尼（*G.P.S. Occhialini*）、拉次（*C.M.G. Lattes*）三個人，把他們在波里溫安德斯（*Bolivian Andes*）地方研究照相乳膠時，所記錄得到的重介子蹤跡之照相底片寄到美國。隨後的實驗又證明，這些重介子正如湯川理論所說，會和質子和中子起反應。現在稱重介子爲 *Pi*（π）介子，輕介子爲 *Mu*（μ）介子，並確知有正、負和中性 π 介子；負 π 介子比電子重 273倍，而中性 π 介子爲電子之 264倍。正 μ 介子和負 μ 介子也已經發現，它們比電子重 210倍。不過中性 μ 介子還在尋找中。

照相乳膠的工作又引導了更多介子的發現，τ（*tau*）、κ（*kappa*）以及 χ（*chi*）介子，質量約爲966倍電子質量，有些正電，有些帶負電，有些中性的。

在空間，一個正 π 介子或負 π 介子，大約在 2×10^{-8}秒左右衰變成一個正 μ 介子或負 μ 介子。而 μ 介子則在兩微秒之間衰變成一個正子或電子和兩個微中子。

中性 π 介子迄今仍是一個謎樣的東西，因爲它能轉化成兩個高能量的質子或 γ 射線。其半衰期爲 7×10^{-17} 秒。

【介子場理論】（**Meson field theory**）

認爲核力場（*nuclear force field*）是由核子（*nucleon*）交換介子而形成的理論。

【介子與超核子的衰變】(Decay of mesons and hyperons)

詳閱"介子 (*Mesons*)"條。

【介電物料】(Dielectric material)

如雲母、玻璃、陶瓷、蠟紙及油等。

【介電常數】(Dielectric constant)

1. 絕對介電常數 ϵ 是電位移 D 與電場強度 E 的比值，即

$$\epsilon = D/E$$

同性介質的 ϵ 是純量，異性介質的 ϵ 是張量。

絕對介電常數亦可以下法定義之，在某介質內，有兩點電荷 q_1 和 q_2 相距 r， 二者之間的庫倫力爲 F，則在高斯單位制中

$$F = q_1 q_2 / \epsilon r^2$$

式中 ϵ 就是該介質的絕對介電常數。

2. 相對介電常數 κ 是一介質對自由空間的絕對介電常數的比。若 ϵ_0 是自由空間的絕對介電常數，則

$$\kappa = \epsilon / \epsilon_0$$

在高斯單位制中，$\epsilon_0 = 1$，故 $\kappa = \epsilon$， 即相對和絕對介電常數相等。

【介電常數與折射率的馬氏關係】(Maxwell relation between dielectric constant and refractive index)

介電常數 ϵ 是電位移 D 與電場強度 E 的比值

$$D = \epsilon E$$

而 $\epsilon = n^2$，n 是折射率，此即與馬克斯威方程式的關係。

【介電損耗】(Dielectric loss)

在處於交變電場內的電介質中，由於電介質滯後現象而產生的能量損耗。頻率愈高，則介質損耗愈大，因此在高頻場中，應使用低損耗的介質 (聚苯乙烯、高頻瓷料等)。

【介電質極化率】(Dielectric susceptibility)

電介質在電場$\vec{E}$的作用，會有極化現象，而極化強度$\vec{P}$表示電介質的單位體積內所生平均電偶極矩的大小。在高斯單位制中，電位移$\vec{D}$表之爲．

$$\vec{D}=\vec{E}+4\pi\vec{P}$$

由此式可知，$\vec{D}$實際上是由自由電荷所造成的電場強度。在各向同性的電介質中，介電常數ϵ爲

$$\epsilon \equiv D/E = 1 + 4\pi P/E = 1 + 4\pi\chi$$

式中$\chi \equiv P/E$稱爲該電介質的極化率。

【介質】(Medium)

凡能傳遞波浪的水，或能傳聲波的空氣等，即可以傳遞波動的彈性物質叫介質。介質在傳遞波動時，本身只是振動，並不隨波而移動。

【介質之特性波長】(Characteristic wavelength of a medium)

介質的特性波長等於$\frac{1}{f\sqrt{\mu\epsilon}}$其中$\frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}$爲特性速度，$f$爲頻率。

【介質吸收】(Absorption dielectric)

指電容器的介質對兩導片充電時有誘電作用，但在放電時介質未能立即恢復原狀，介質對兩片原有的電荷仍有吸收作用。

【介質阻力】(Medium resistance)

物體在液體或氣體中運動時，必要發生阻力；此項阻力稱爲介質阻力，係由下列各力組成者：(1)物體前端的衝擊壓力(*staudruck*)。前端如做成圓形突出狀時，此項衝擊壓力則相當微小；(2)物體四周液體或氣體之內部摩擦；(3)由向後的渦流所生成之阻力。物體所具外型如能避免產生渦流(流線型)，則這一部分的阻力亦極微小。

運動體之外型對阻力的影響，可由實驗求出其比例因數c，物體在空氣中或在水中運動時的阻力都是隨同正對運動方向之截面積s而增加

。阻力和外型以及和截面積之間的關係，例如，展開之紙張所受到的空氣阻力比較用這張紙摺攏在一起而重量相等的小紙球所受到的空氣阻力要大得多；在墜落時，前者也要慢一點。至於阻力乃隨物體速度而改變，在一般交通工具以及飛機所具有的速度範圍以內，其阻力係與速度v之平方成正比。除此以外，我們也可以看出一種情形，那就是：在物體穿經某一質素而運動時，此質素之密度愈大，則所生阻力亦愈大。綜合起來可得到如下之阻力公式：

$$W=\frac{1}{2}c\,s\,d\,v^2$$

式中之W代表阻力，以仟彭為單位；c代表阻力因數；s係以平方米為單位之截面積；d為1立方米之質量；v代表以米／秒為單位之速度。就有名的柴油電氣飛快車而言，當它的速度高達150公里/時，差不多要消耗全部引擎功率（820馬力）之7/8來克服空氣之阻力。

介質阻力雖然常會礙事，而非我們所希冀的東西，但它卻是物體所以能在水中或在空氣中運動前進之原因。在划船的時候，水就是因為具有阻力之故，所以才不會向後退，因此使得船槳就好像是在水中繞著一固定點轉動一般；於是船槳的中心乃壓推著船舷上的槳架，使船向前移動。具有船用螺旋槳和推進器的交通工具，也是由於介質阻力的關係，才能產生前進運動。空氣阻力對於降落傘則更屬不能缺少。物體在地球引力之影響下由高空墜落時，速度愈來愈大，空氣的阻力也就跟著愈來愈大；到了某一瞬間，空氣阻力終於和地心引力的大小相等，也就是和物體之重量相等；此時不再有力量加在物體上，物體必以在這一瞬間所具有之速度，遵從慣性定律等速地繼續向下降落。因此之故，降落傘殆非具有足夠的面積，使得視面積而定的空氣阻力能在相當小的速度之下，即已等於降落傘的重量加上吊掛在傘上的人體重量不可。

【介質滯後效應】（Dielectric hysteresis）

在鐵芯線中，磁力線比磁動力滯後，其原因就是導磁介質誘磁，使

殘磁留在鐵芯中，磁力線因此未能與磁動力步伐一致所致。

【介質應力】(Dielectric stress)

介質接受電力線通過後的應變力，此種應變力在原子形態方面表現出來。

【介穩平衡】(Metastable equilibrium)

設一孤立系統的巨觀參數爲 y ，則當機率 $p(y)$ 或熵 S 有極大值時，此系統達平衡。但有時熵 S 的極大值可能不只一個，圖 4 — 37 即表示有兩個極大值的情形。

若熵的極大值在 y_b 處比在 y_a 處爲大，則因

$$p(y) \propto exp(S(y)/k)$$

故按理說應 $p(y_b) \gg p(y_a)$ 。現假設此系統在最初的時刻，其巨觀參數 y 距離 y_a 不遠，此系統能隨即達到差不多等於 y_a 的值。雖然外觀上 y 趨近於 y_b 時熵比較大， 但因要達此 y_b 處的極大必須經過機率不高的區域 $y_a < y < y_b$ ，故若無其他的外加幫助，經過此區域而達到 y_b 處的極大值必須經過相當長的時間。 在實際實驗時，接近 y_b 處的物態幾乎不爲這系統所接受，顯現出來的僅是系統在 y 接近於 y_a 處，由於對每一個附屬於該系統的物態均有相等的機率而達平衡。這種在熵的較小極大處達平衡而未發生於最大極大處才達平衡的情況，稱爲介穩平衡。若以某些方法使接近 y_a 的參數 y 易於轉移到接近於 y_b ，則此介穩平衡能很快的在 $y \rightarrow y_b$ 處達到眞正的平衡狀態。 例如水通常在攝氏零度時結冰，若將純水慢慢冷卻而不擾動，則雖至零下 20°C 或更低的溫度，能達到介穩平衡而仍保有液態性質。但當擲入一小顆沙粒時能立

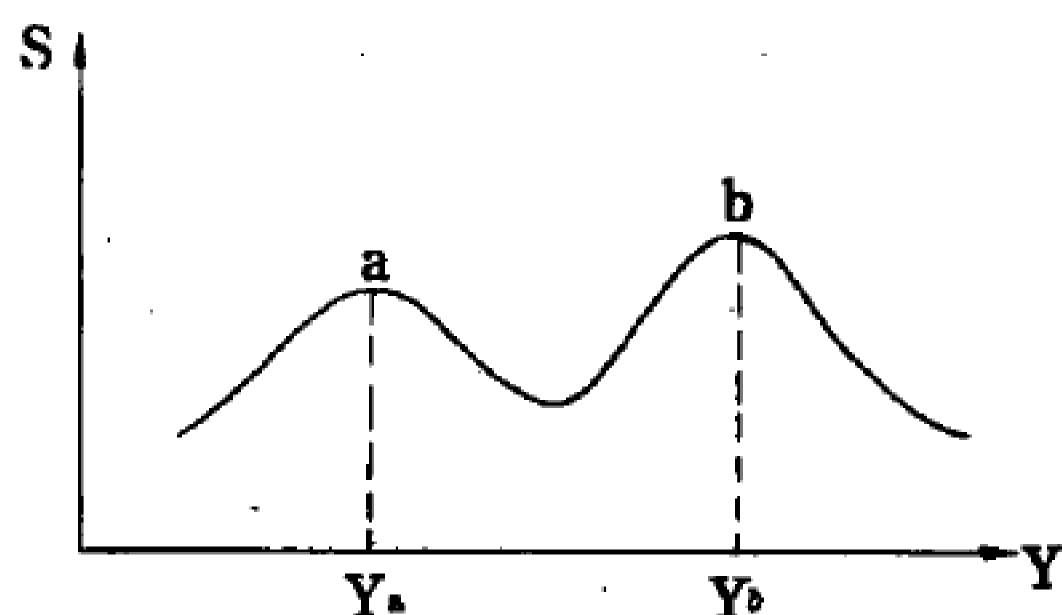


圖 4 — 37

刻結成冰，而達到眞正的平衡。

【介穩狀態】(Metastable states)

所謂介穩狀態，是指物體(質)的某特殊狀態。在此狀態時物體(質)所具有的能量超過其維持穩定狀態的能量，但此物體(質)仍舊維持其穩定情況。例如，水在760毫米水銀柱的大氣壓力下，其沸點爲 100°C，但有時雖熱至105°C仍未有沸騰現象，而此時其所具有的熱能實已超過正常狀態下的氣相液相平衡能。在這種狀態下的水，稱之爲介穩狀態下的水。

我們從凝固之阻滯、沸騰之阻滯、凝結之阻滯諸現象中可以看出：當物體在某種條件之下超越臨界溫度(凝固點、沸點、凝結點)時，並不能由某一集團態立刻轉變爲另一集團態。直到目前爲止，我們尙未在任何物體上觀察到一種相當於沸騰阻滯的熔點宕移現象。當一質素被加熱或冷卻到超過臨界溫度而猶未發生轉變時，則該質素係處於一種所謂不穩定的特別平衡狀態；根據歐斯伐(*W. Ostwald*)，我們稱之爲介穩狀態。過飽和溶液即是處於此種狀態；又玻璃以及其他非晶體如蛋白石和樹脂等，通常被視爲過冷液體者亦復如此。此類物體均具有一種突然轉入穩定狀態的企圖。例如：過冷的水如加熱到 0°C 時，便會立刻凍結爲冰；水在沸騰阻滯中如冷卻到低於沸點的溫度時，則發生爆炸式的沸騰；過飽和蒸汽在過剩蒸汽凝結時，轉瞬間便會恢復飽和狀態；過量溶解的質素則會從過飽和溶液中析出而結晶；玻璃在某種條件下會轉變爲晶狀(亦即所謂玻璃之結晶化)，變成易於破碎而不透明的物體。

在原子物理學中，所謂介穩狀態，是指原子在受到外加能量的影響，由基態達到受激態。在正常情況下，受激態的原子會輻射能量使本身返回到基態。如果原子達到受激態後，因受選擇定則的限制，不能輻射合適的能量而返到基態時，這受激態稱爲介穩狀態。使介穩狀態下的原子返回到其基態的方法有二：一是使介穩態的原子與其他原子相撞

，使其多餘的能量傳遞到其他的原子，而自身返回基態。二是再吸收某合適的能量，使介穩態之原子的能量再度升高至另一受激態，而此受激態恰可符合選擇定則的要求，輻射能量，而重返基態。

在原子核物理學中，原子核的某些受激態（該態又稱爲該原子核基態的異構物 *isomer* ）的壽命頗長，往往經過加瑪躍遷後，再作他種輻射蛻變而成穩定原子核。這種受激的異構物稱爲介穩狀態的原子核。

【介穩狀態的平均壽命】（ Mean life of metastable states ）

介穩狀的原子衰變時間的平均值稱爲介穩狀態平均壽命，若介穩狀態原子的數目按指數定律變化，即

$$n = n_0 e^{-\lambda t}$$

式中 n_0 是 $t = 0$ 時的介穩狀態原子數，n 是時間爲 t 時的數目，λ 是個常數，介穩狀態壽命等於 $1/\lambda$ 。

介穩狀態平均壽命決定於其放射輻射的振體強度 f ，及原子與其他原子的碰撞作用。在氣體狀態中原子之間的作用可忽略時，介穩狀態的平均壽命爲

$$\frac{1}{\lambda} = fe^2 \frac{\omega_0^2}{mc^3}$$

【介穩核】（ Metastable nuclei ）

在激態中的核，能度量其生命期者。

【介穩能階】（ Metastable level ）

光之發射，僅能在相鄰直列之能階間所發生之過渡，可以產生之。此一規則，在某些特殊能階圖中，即其能階之列置，有與鈉原子不同者，導致一奇妙之預示。舉例言之，在圖 4 — 38 之能階圖中，其第三直列之最低能階，乃較其兩鄰者略低。在放電中，由於撞擊，可以激發至（或在受激後，因發射光譜可以抵達至）所有一切可能之能階，因此，有諸原子，最後終將抵達最低之 D 階。在此

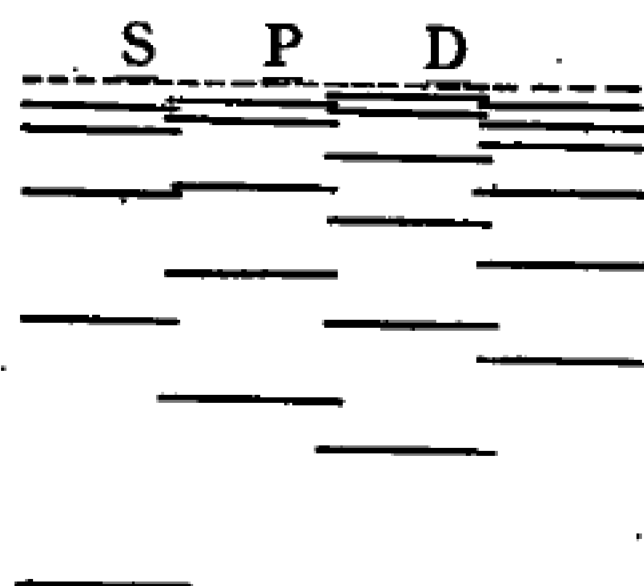


圖 4 — 38
有介穩能階（即最低之D階）之能階圖。

處，雖則彼等有存儲之能量，但原子按選擇規則，係“干禁”輻射，因爲相鄰直列，未有較之更低之能階。此一情勢，使此諸能階，有遠較尋常受激原子更長之壽命。如此特殊能階，稱爲介穩能階，以別於普通之不穩定能階與一個僅有之穩定能階（即所謂原子之正常狀態）。從線光譜之分析，得知介穩能階有與所有其他能階相同之準確程度，此因在某諸光譜線之發射中，憑已知之初能階，從而揭示彼等爲最後之能階。

此處根據圖4—38 所預示之介穩能階，僅爲一特殊情形。對於原子光譜完全之分析，述及精細結構（*fine structure*）之能階，另有量子數必須較多之選擇定則（*selection rule*）者，當另有更多介穩能階產生之機會。此諸能階，發生於汞、氦、氧以及其他之原子。

介穩能階在某種光化學反應中，有其作用。在某種光化學反應中，起初係光入射於一混合氣體，激發一原子，例如爲一汞原子。因爲如此產生之受激狀態之原子，在經過甚短之生命期後，即輻射能量；惟因時間太短，不足進行需用能量之化學反應。不過，如果由於撞擊，受激原子瞬即至於介穩能階，則情況迥異；因爲在介穩能階，其壽命遠爲長久，故有遠爲優渥之機會，以利用其能量，進行其化學反應。吾人已知有許多光化學反應，係由於介穩汞原子所發生者。

前稱選擇定則對於非屬相鄰直列之能階間，完全禁止其過渡，乃爲一過甚之辭。吾人最好稱：所謂“干禁”之過渡，係其過渡之機會遠較“允許”過渡者爲小，例如小至1/1,000,000。故在實驗室中，例如在一放電中，介穩能階會在其能輻射以前，即因與一電子或一原子或周壁之碰撞，迅即破壞。不過，在空氣之高層或在太陽暈圈中，密度甚小，故碰撞間之時隔甚長。於此，介穩原子生存之機會甚大，而可發射濃密之光譜線；例如，極光中之特性綠譜線，乃歸諸於100仟米高空中發生之介穩原子之發射。

【內力】（Internal force）

物體內一部分對另一部分所施之力；如內聚力。

【內太陽系】（ Inner solar system ）

太陽系的內圈包含六個有順序的軌道行星（水星、金星、地球、火星、木星及土星），和一羣成百的小行星（圖4—39所示）。典型的小行星，如穀神（ *Ceres* ）和柰諾神（ *Juno* ），是位在火星和木星之間。西班牙紳士（ *Hidalgo* ）和兩個特洛伊羣（ *Trojan groups* ）的特殊軌道使我們聯想到這些星體可能是早期木星的衛星。這兩個特洛伊羣的小行星被木星的重力場封鎖在圖上所畫的相鄰等邊三角形有關的位置上。軌道的折線部分位在地球軌道面的下方。

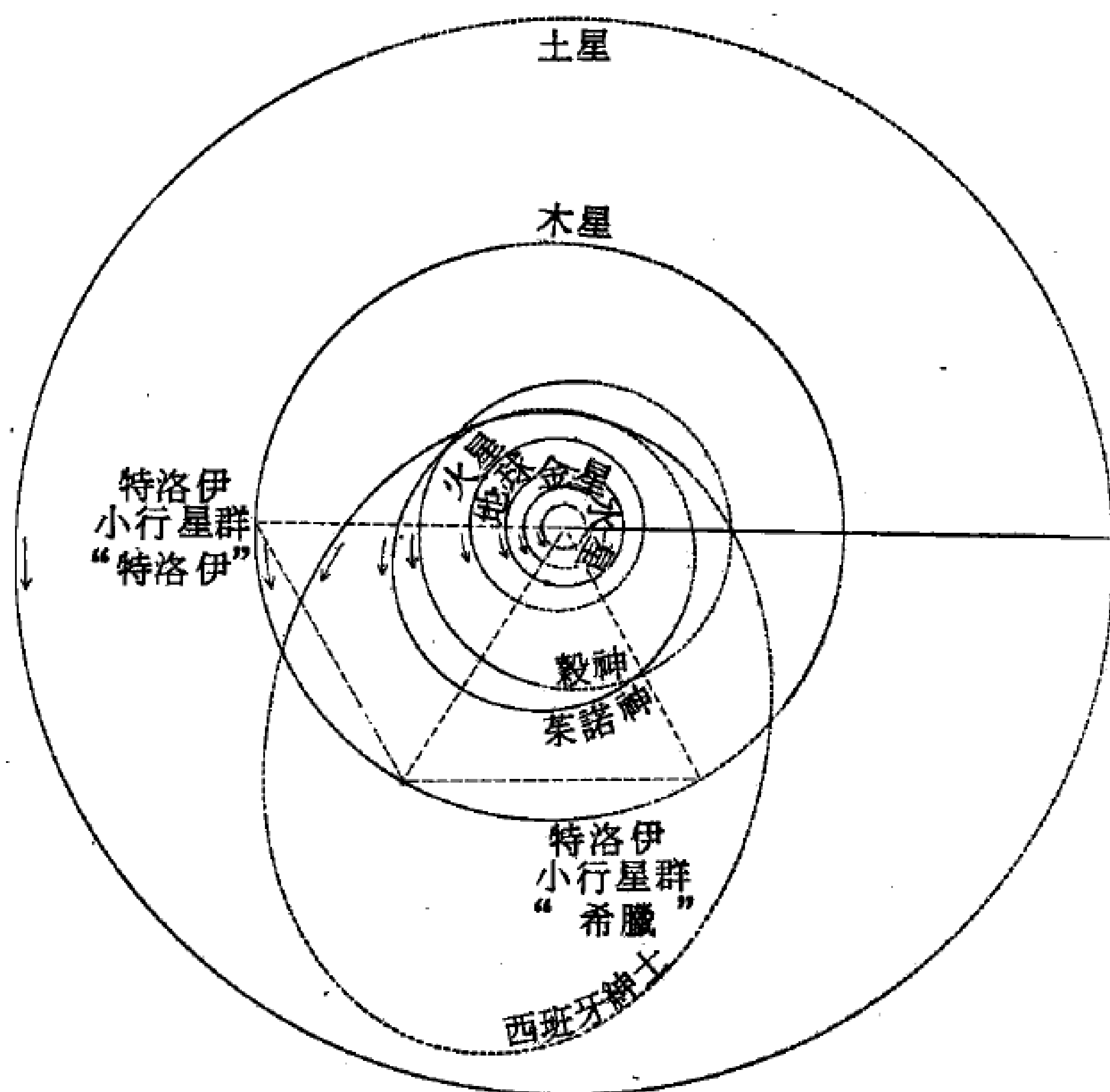


圖 4 — 39　太陽系的內圈

【內切應力】（ Internal shear stress ）

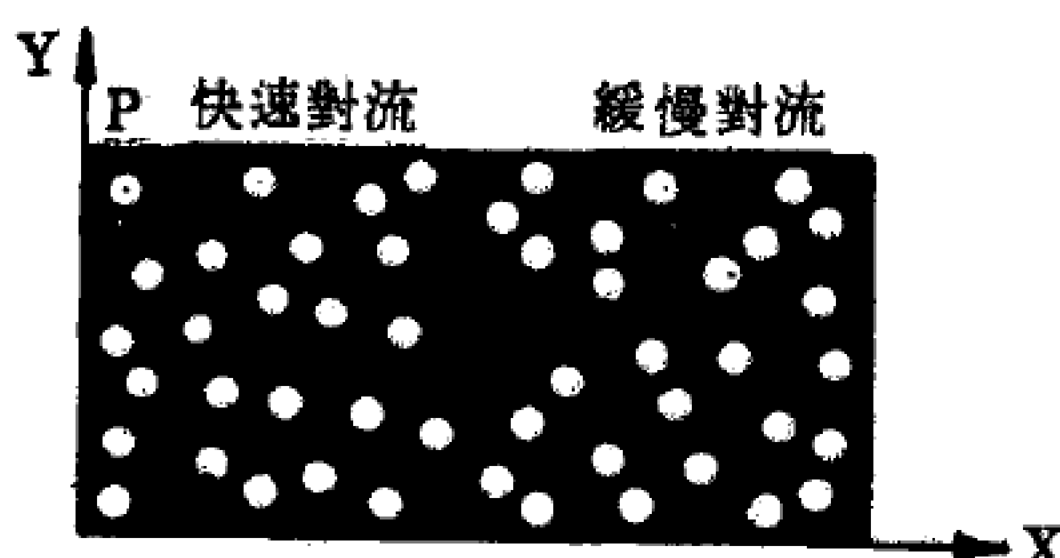


圖 4—40
對流運動中之切應力

設一流體之流動如圖 4—40 所示，對流速度係沿 Y 軸方向，大小為沿 X 軸距離之函數，若平面 P 右側的流體獲得對流動量（平行 Y 軸），而 P 之左側失去對流動量（平行 Y 軸），如此可說，P 右側之流體受到一平行於流向之力作用，而 P 左側之流體受一與此等量且反向之力作用。此力被稱為內摩擦，每單位面積上此力之值稱為內切應力，以 τ 表示之。由是吾人可得一敘述：動量的傳輸產生一內切應力，此內切應力具有使對流流速相等之趨勢。

因力為單位時間內動量之變更，故 τ 之單位為牛頓米 ^{2}（$Newton \cdot m^{2}$）或米 $^{-1}$ 仟克秒 $^{-2}$（$m^{-1} \cdot Kg \cdot sec^{-2}$）。

【內合】（ Interior conjunction ）

當內行星、地球與太陽三者成一直線，內行星在接近地球之一端時稱為內合，在遠離地球之一端時，稱為外合（ *superior conjunction* ）。同樣的情形發生在外行星時分別稱為衝（ *opposition* ）及外合。

【內行星】（ Interior planets ）

行星之軌道在地球軌道之內者，稱為內行星。水星和金星便是。

行星是公轉於太陽的周圍，但從地球看過去，它們在天球上的視運動，內行星和外行星各不相同。

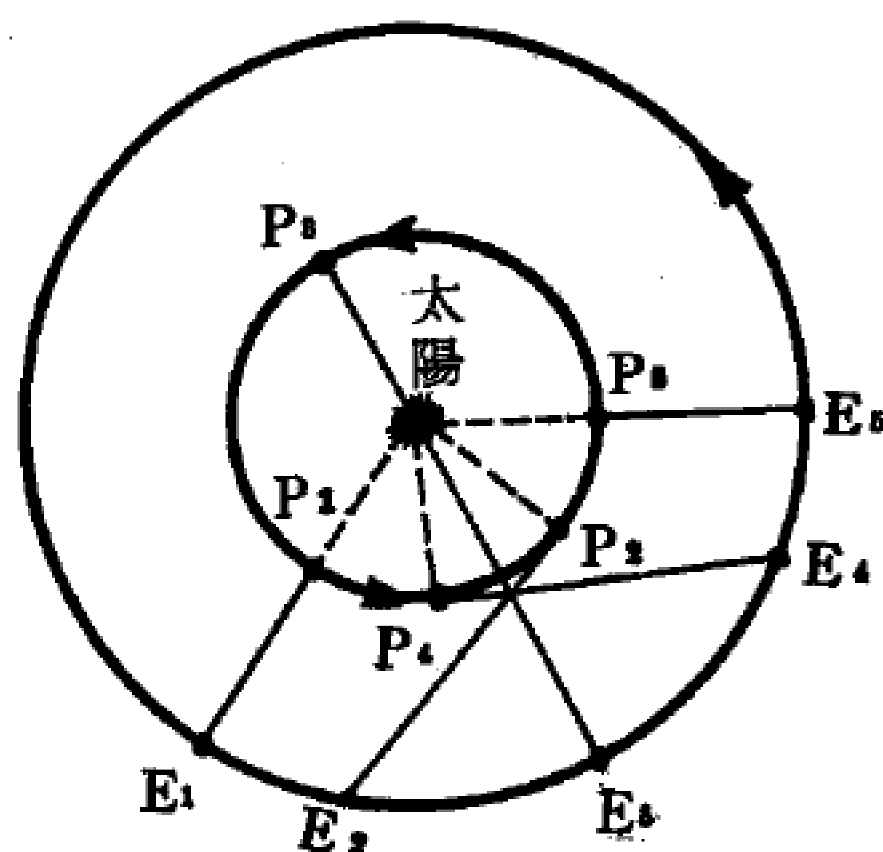


圖 4—41
內行星的運行

就圖 4—41 來說，假設大圓為地球的軌道，小圓為內行星的軌道，中心為太陽。當行星在 P_1， 地球在 E_1 的時候，叫做內合，其次在 E_2P_2 的位置，叫做西大距（ *greatest*

western elongation ）；在E_3P_3的位置，叫做外合（ *superior conjunction* ），E_4P_4的位置，叫做東大距（ *greatest eastern elongation* ）；到了E_5P_5的位置又爲內合。內行星的運行，是按這個次序而反覆；自地球看過去，似乎以太陽爲中心向東西移動的樣子。天球上行星的視運動，是以太陽中心運動和太陽自身在黃道上運行相合的結果。所以頗爲複雜。參閱下表。

內行星與外行星

名稱		用望遠鏡看到的情形	大氣	其他
內行星	水星	有圓缺	無	行星中最小
	金星	有圓缺	有	因濃厚大氣的反射在行星中最明亮
外行星	火星	有紅色部分和深綠色部分，也有白色極冠	有	火星的一年（地球的687日）也分有四季
	木星	有若干島形的模樣有四個衞星	有	島的樣子，是大氣中雲的影像，爲行星中最大
	土星	在赤道周圍可看到平坦的輪	有	輪是由無數的星球集合而成，是行星中次大者
	天王星	青綠色的圓形	有	
	海王星	青綠色的圓形	有	
	冥王星	普通望遠鏡看不到	無	

【內含性質】（ Intensive property ）

與質量無關的性質，如壓力、溫度。

【內含量】（ Intensive quantity ）

如壓力P和溫度T等不隨物[illegible]量而增減，稱爲內含量。

假如我們把一個處於平衡狀態的系統等分爲二，每部分的質量相等。在各半個系統中，與原系統中保持相同的性質叫做內含的（ *inten-*

sive)；減半了的性質則爲外延的（ *extensive* ）。一個系統的內含量坐標，例如溫度和壓力，是與質量無關的；外延量坐標值則與質量成正比，如體積、面積等。參閱附表。

內含量坐標與外延量坐標

簡單系統	內含量坐標	外延量坐標
靜流體系統	壓力 P	體積 V
張緊的金屬線	張力 F	長度 L
表面膜	表面張力 S	面積 A
可逆電池	電動勢 E	電荷 Q
順磁性固體	磁場強度 H	磁化強度 M

【內位能】(Internal potential energy)

詳閱“內能（ *Internal energy* ）”條。

【內角動量】(Internal angular momentum)

質點系之角動量視其計算時所對之點而定，多質點系之內角動量 L_{int} 定義爲相對於質量中心 C(坐標系原點)之總角動量，因此內角動量爲系統本身之一性質，且與觀察者無關。如爲一剛體或一基本粒子，其內角動量也叫自旋（ *spin* ）。

參閱“角動量（ *Angular momentum* ）”條。

【內能】(Internal energy)

在呈力學平衡狀態的物質內，所存在的能量稱爲內能。依照熱力學第一定律，設物質從狀態 A 至狀態 B 的變化中，由外界接收功 dW 及熱量 dQ，則內能的增加 dU 與變化過程無關，等於

$$dU = dW + J\,dQ$$

J 爲熱功當量。內能爲物質的一種狀態量，而在各向同性的物質中爲兩個狀態變數的函數。物質在電磁場中，通常將電磁場能量計算在內，當

做內能。

因爲動能視速度而定，故動能之值視用以討論系統運動之參考坐標系而定。相對於參考 C 坐標系之動能將稱爲內動能 $E_{k,int}$。僅視質點間之距離而定之內位能，在所有參考坐標系中有同一數值。一系統之內位能及內動能之和將定義爲此系統之內能，此即

$$U_{int} = E_{k,int} + E_{p,int} = (E_k + E_p)_{int}$$

相對於任何參考坐標系之動能與系統內動能之關係可表爲

$$E_k = E_{k,int} + \frac{1}{2} M v_{cm}^2$$

$E_{k,int}$ 項爲內動能，此項

$$E_{k,orb} = \frac{1}{2} M v_{cm}^2$$

稱爲系統之移動或軌道動能，此爲質量 $M = \sum_{i=1}^{n} m_i$ 之一質點以系統的質量中心速度運動的動能，故一系統之動能可表成內動能與軌道動能之和。

再注意，可將系統之運動分成二部分，每部分具一明確之動能，其一爲具質量中心速度之移動，另一爲相對於質量中心之內運動。

再考慮一投手擲一轉球爲例，此球相對於地之總動能爲其相對於質量中心之內動能（相當於自旋動能）與相對於地移動（相當於軌道運動）之動能之和。對一分子而言，情況也類似。例如氣體分子相對於質量中心運動之能量與其內部原子轉動與振動之能量之和稱爲內能。事實上並非所有的內能均須爲動能，尙包括分子內部原子間之間隔改變所具之相互位能與分子間相互作用之位能。

對於質點組的動能與內能更精確的描述、合併說明於下：

由 n 個質點所組成之系統的總動能可寫成兩部分之和，一部分爲質量中心移動之動能；另一部分爲質點對質量中心作相對運動之動能的總

和。爲著證明這一點，我們先寫出m_i 質點對一原點爲O之慣性參考系的動能。設m_i質點對O點之速度爲$\dot{\vec{r}}_i$，速率爲v_i ，則其動能T_i爲

$$T_i = \frac{1}{2} m_i \vec{v}_i^{\,2} = \frac{1}{2} m_i \dot{\vec{r}}_i \cdot \dot{\vec{r}}_i \qquad (1)$$

若m_i質點對原點在O'之參考系的位置向量爲$\vec{r}'_i$，O'對O之位置向量爲$\vec{R}$，則

$$\vec{r}_i = \vec{R} + \vec{r}'_i \quad \text{或者} \quad \dot{\vec{r}}_i = \dot{\vec{R}} + \dot{\vec{r}}'_i$$

因此，（1）式可寫成

$$T_i = \frac{1}{2} m_i (\dot{\vec{r}}'_i + \dot{\vec{R}}) \cdot (\dot{\vec{r}}'_i + \dot{\vec{R}})$$

將每一質點對O之動能加在一起，即得此系統之總動能T，即

$$T = \sum_{i=1}^{n} T_i = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{2} m_i (\dot{\vec{r}}'_i + \dot{\vec{R}}) \cdot (\dot{\vec{r}}'_i + \dot{\vec{R}})$$
$$= \frac{1}{2} M |\dot{\vec{R}}|^2 + \dot{\vec{R}} \cdot \left(\sum_{i=1}^{n} m_i \dot{\vec{r}}'_i \right) + \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{2} m_i |\dot{\vec{r}}'_i|^2$$

上式中$M = \sum_{i=1}^{n} m_i$， 即爲系統的總質量，右邊第三項爲質點對O' 點的總動能，故此式爲從二不同參考系上所得上所量得的質點組的總動能間的一般關係式。假設我們所選擇的任意參考系的原點O'爲質點組的質量中心，則

$$\sum_{i=1}^{n} m_i \dot{\vec{r}}'_i = 0$$

故

$$T = \frac{M}{2} |\dot{\vec{R}}_c|^2 + \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{2} m_i |\dot{\vec{r}}'_i|^2 = \frac{M}{2} v_c^2 + \sum_{i=1}^{n} \frac{m_i}{2} v_i'^2$$

此處v'_i爲$\dot{\vec{r}}'_i$的大小，v_c爲質量中心的速度$\dot{\vec{R}}_c$的大小。上式之結論告訴我們：一質點組的總動能可被寫爲質量中心平移的動能與質點對質量中心相對運動的總動能的和。

假設系統內質點間有交互作用，並且也受到外力的作用，則m_i 質點對原點在O之慣性坐標的運動方程式爲

$$m_i \ddot{\vec{r}}_i = \vec{F}_{ie} + \sum_{j=1}^{n}{}' \vec{F}_{ij} \qquad (2)$$

此處$\vec{F}_{ie}$及$\vec{F}_{ij}$各代表質點所受之外力與其相互間之作用力。若經dt時間m_i質點的位移爲$d\vec{r}_i$，則上式與$d\vec{r}_i$之純量積爲

$$m_i\ddot{\vec{r}}_i\cdot d\vec{r}_i=\vec{F}_{ie}\cdot d\vec{r}_i+\sum_{j=1}^{n}{}'\vec{F}_{ij}\cdot d\vec{r}_i$$

因

$$\ddot{\vec{r}}_i=\frac{d\dot{\vec{r}}_i}{dt}$$

故

$$\ddot{\vec{r}}_i\cdot d\vec{r}_i=\frac{d\dot{\vec{r}}_i}{dt}\cdot d\vec{r}_i=d\dot{\vec{r}}_i\cdot\frac{d\vec{r}_i}{dt}=d\dot{\vec{r}}_i\cdot\dot{\vec{r}}_i=\frac{1}{2}d(\dot{\vec{r}}_i\cdot\dot{\vec{r}}_i)=\frac{1}{2}dv_i^2$$

所以上式可被寫成

$$d\left(\frac{1}{2}m_iv_i^2\right)=\vec{F}_{ie}\cdot d\vec{r}_i+\sum_{j=1}^{n}{}'\vec{F}_{ij}\cdot d\vec{r}_i$$

設m_1質點在時間t_0時之位置爲$\vec{r}_{i0}$，速率爲v_{i0}；在任意時刻t時之位置與速率爲$\vec{r}_i$及v_i，m_i質點由$\vec{r}_{i0}$移到$\vec{r}_i$所循的路徑爲C_i，則將上式積分可得

$$\int_{v_{i0}}^{v_i}d\left(\frac{1}{2}m_iv_i^2\right)=\frac{1}{2}m_iv_i^2-\frac{1}{2}m_iv_{i0}^2$$

$$=\int_{C_i\,\vec{r}_{i0}}^{\vec{r}_i}\vec{F}_{ie}\cdot d\vec{r}_i+\sum_{j=1}^{n}{}'\int_{C_i\,\vec{r}_{i0}}^{\vec{r}_i}\vec{F}_{ij}\cdot d\vec{r}_i$$

上式右邊第一項爲作用於m_i質點的外力對m_i所作的功，而第二項則爲所有作用於m_i質點的內力所作的功之和。此式告訴我們m_i質點之動能的改變量爲作用於m_i質點之外力與內力所作之功的總和。如果我們將此式對所有的質點加在一起，則得

$$\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{1}{2}m_iv_i^2-\frac{1}{2}m_iv_{i0}^2\right)$$

$$=\sum_{i=1}^{n}\int_{C_i\,\vec{r}_{i0}}^{\vec{r}_i}\vec{F}_{ie}\cdot d\vec{r}_i+\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}{}'\int_{C_i\,\vec{r}_{i0}}^{\vec{r}_i}\vec{F}_{ij}\cdot d\vec{r}_i$$

假設外力與內力都爲保守力，則上式右邊各項之線積分與每一質點所經之路徑無關。因爲在時間 t 時質點之位置爲 $\vec{r}_1, \vec{r}_2, \cdots, \vec{r}_n$，在時間 t_0 時質點之位置爲 $\vec{r}_{10}, \vec{r}_{20}, \cdots, \vec{r}_{n0}$，故將上式中積分之上限都寫成 t，而下限都寫成 t_0，應不致發生混淆。因此，對於保守力的特殊且重要之情形，上式可被寫成

$$\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{1}{2}m_i v_i^2 - \frac{1}{2}m_i v_{i0}^2\right)$$

$$= \sum_{i=1}^{n}\int_{t_0}^{t}\vec{F}_{ie}\cdot d\vec{r}_i + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}{}'\int_{t_0}^{t}\vec{F}_{ij}\cdot d\vec{r}_i \qquad (3)$$

上式中右邊第二項表示將每一對交互作用的質點所作的功都加在一起，而 i 、j 指數（ *index* ）只表示這種相加的符號，我們也可以用其他符號，（如 α 、β ）代表這些相加的指數。因此，這一項可被寫成

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}{}'\int_{t_0}^{t}\vec{F}_{ij}\cdot d\vec{r}_i = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}{}'\int_{t_0}^{t}\vec{F}_{ji}\cdot d\vec{r}_j$$

如果對於上式的關係仍有懷疑，則可以假設 n 爲某一數字（如 $n = 4$ ），再將兩邊展開，便很容易可看出上面之等式確實成立。因此，上式右邊第二項可被寫成

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}{}'\int_{t_0}^{t}\vec{F}_{ij}\cdot d\vec{r}_i = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}{}'\left[\int_{t_0}^{t}\vec{F}_{ij}\cdot d\vec{r}_i + \int_{t_0}^{t}\vec{F}_{ji}\cdot d\vec{r}_j\right]$$

假設內力不只爲保守力，且滿足牛頓第三定律，即 $\vec{F}_{ij} = -\vec{F}_{ji}$，則上式可被寫成

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}{}'\int_{t_0}^{t}\vec{F}_{ij}\cdot d\vec{r}_i = \frac{1}{2}\sum_{i=1,}^{n}\sum_{j=1}^{n}{}'\int_{t_0}^{t}\left(\vec{F}_{ij}\cdot d\vec{r}_i - \vec{F}_{ij}\cdot d\vec{r}_j\right)$$

$$= \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}{}'\int_{t_0}^{t}\vec{F}_{ij}\left(d\vec{r}_i - d\vec{r}_j\right)$$

$$= \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}{}'\int_{t_0}^{t}\vec{F}_{ij}\cdot d\vec{r}_{ij} \qquad (4)$$

上式中 $\vec{r}_{ij} = \vec{r}_i - \vec{r}_j$，即 m_i 質點對 m_j 之位置向量。根據位能函數的

定義，上式中之積分爲m_i及m_j在t_0及t時刻位能之差，即

$$\int_{t_0}^{t} \vec{F}_{ij} \cdot d\vec{r}_{ij} = U_{ij}(t_0) - U_{ij}(t)$$

U_{ij}表示m_i及m_j交互作用之位能函數。這一位能函數只與$\vec{F}_{ij}$內力有關，故稱爲m_i及m_j的內位能（*internal potential energy*）。故（4）式可被寫爲

$$\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \int_{t_0}^{t} \vec{F}_{ij} \cdot d\vec{r}_i = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n}{}' \left[U_{ij}(t_0) - U_{ij}(t) \right]$$

因爲$U_{ij} = U_{ji}$，故上式右邊之$\frac{1}{2}$表示每對質點交互作用之位能只有一項；例如，m_i及m_j交互作用的位能爲U_{ij}，而不爲$U_{ij} + U_{ji}$。因此，一對質點交互作用的位能是屬於這一對質點，我們很難說它只屬於m_i或m_j，除非在特殊的場合，如m_i（或m_j）之質量爲無限大時，我們爲方便起見才將U_{ij}指定爲m_j的位能。如果內力$\vec{F}_{ij}$與$\vec{r}_{ij}$平行，即內力爲聯心力時，U_{ij}將只爲$\vec{r}_{ij}$（m_i與m_j的距離）之函數，在這種情況下內位能U_{ij}將與參考系之選擇無關，這是因爲U_{ij}只與兩質點間之距離有關，而兩質點間的距離與所用之參考系無關。宇宙裏已知的大部分的基本交互作用大致都具有這種性質。例如，質點的速度不很快時，庫倫交互作用與重力交互作用就爲聯心力。

因爲我們假設外力$\vec{F}_{ie}$等爲保守力，故（3）式右邊第一項可被寫成

$$\sum_{i=1}^{n} \int_{t_0}^{t} \vec{F}_{ie} \cdot d\vec{r}_i = \sum_{i=1}^{n} \left[U_{ie}(t_0) - U_{ie}(t) \right]$$

U_{ie}爲m_i質點與外力場交互作用之位能。因此，（3）式可被寫成

$$\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{1}{2} m_i v_i^2 - \frac{1}{2} m_i v_{i0}^2 \right) = \sum_{i=1}^{n} \left[U_{ie}(t_0) - U_{ie}(t) \right] + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n}{}' \left[U_{ij}(t_0) - U_{ij}(t) \right]$$

或者

$$\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{2}m_i v_i^2+\sum_{i=1}^{n}U_{ie}(t)+\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}{}'U_{ij}(t)$$

$$=\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{2}m_i v_{i0}^2+\sum_{i=1}^{n}U_{ie}(t_0)+\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}{}'U_{ij}(t_0)$$

上式中左邊第一項爲質點在時間 t 時之總動能，第二項爲這時質點與外力場交互作用之總外位能（ *external potential energy* ），第三項爲此時質點間交互作用的總內位能。如果我們令

$$T=\sum_{i=1}^{n}T_i=\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{2}m_i v_i^2$$

$$U_{ext}=\sum_{i=1}^{n}U_{ie}\qquad U_{int}=\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}{}'U_{ij}$$

則上式可被簡寫爲

$$T+U_{ext}+U_{int}=T_0+U_{ext,0}+U_{int,0}\qquad(5)$$

因爲質點的機械能爲動能與位能之和，故總能量 E 爲

$$E=T+U_{ext}+U_{int}$$

因此，（5）式告訴我們，如果外力與內力都是保守力，質點組的總能爲一不隨時間改變之常量。這便是應用於質點組的能量守恆定理。

由此可知，質點組的總動能可寫成質量中心之動能與質點對質量中心相對運動之總動能的和，故質點組的總能量可被寫爲

$$E=\left[\frac{1}{2}M\,|\dot{\vec{R}}_c|^2+U_{ext}\right]+\left[\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{2}m_i v_i'^2+U_{int}\right]\qquad(6)$$

因質點對質量中心相對運動之總動能與參考系（即原點在 O 點之慣性參考系）之選擇無關；而內位能也與參考系無關，故我們可定義（5）式右邊第二項爲質點組之內能（ *internal energy* ），即質點組之內能爲質點對質量中心之總動能（或稱爲內動能）與內位能之和，或者

$$\text{內能}\equiv E_{int}=\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{2}m_i v_i'^2+U_{int}$$

$$= \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{2} m_i |\dot{\vec{r}}_i|^2 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n}{}' U_{ij}(r_{ij})$$

而當我們討論氣體運動論時，將遇到有關氣體內能的問題。常假設每個氣體分子就像一小鋼球，並且只有當它們相撞時才有作用力存在。因此，對於這種理想氣體，分子間的內位能爲零，故此種氣體之內能全部爲氣體之內動能，即分子對整羣分子之質量中心的動能之總和。

【內部導熱係數】（ Intrinsic thermal conductivity ）

內部之熱傳導是與物質的本性有關。每一物質的熱傳導是由內部導熱係數來決定的，爲著要了解內部導熱係數的性質，我們不妨設想鐵棒之內有互相平行的二平面 A_3 與 A_4（圖 4 — 42 所示），彼此相距 1 厘米，而且是垂直於一端加熱之鐵棒上。此二平面，範圍出一塊狹小的鐵板。於是，鐵棒的導熱係數就可用以卡爲單位之熱量來計算，這也就是於 1 秒鐘時間內，通過鐵板表面積 A_3 的每一平方厘米的熱量，如果邊界平面 A_3 與 A_4 之間的溫度差異 $t_3 - t_4$ 剛好等於 $1°C$ 的話。就一般情形而言：內部導熱係數乃是 1 秒鐘內通過 1 平方厘米橫切面積之以卡爲單位之熱量，如果垂直於此一橫切面 1 厘米距離上之溫度降低度數剛好爲 $1°C$ 的話。一物體之內部導熱係數，在任何微細部分，全屬相等。它是一種物體常數，有如比重或比熱。我們用 λ 來代表它。

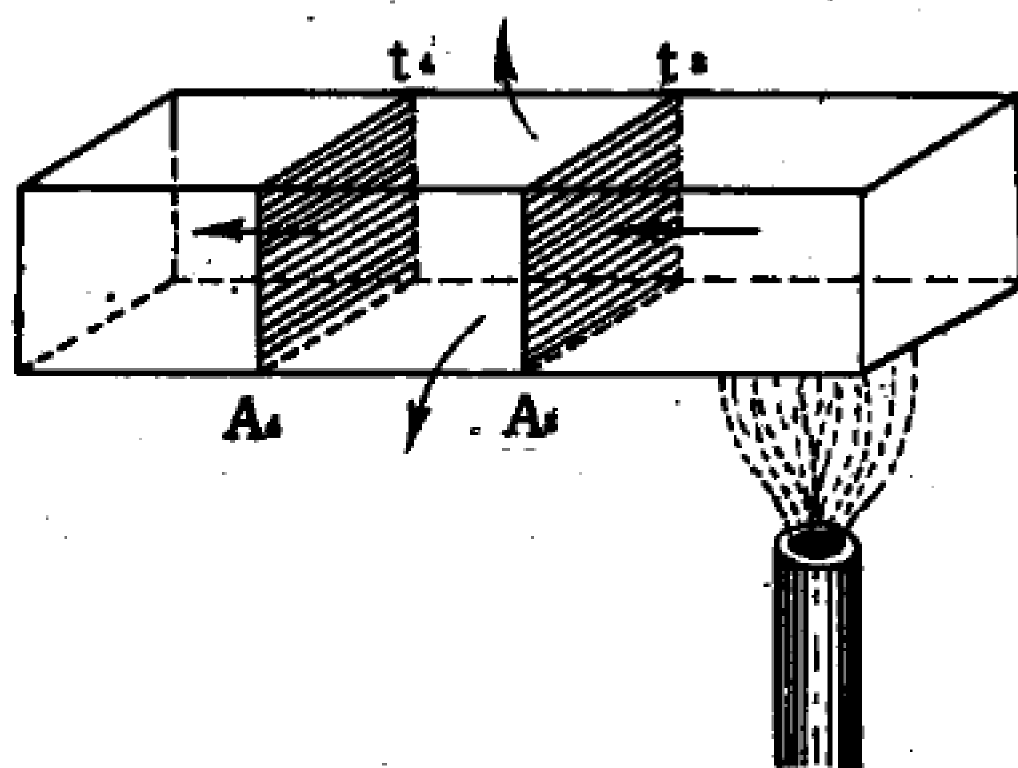


圖 4 — 42

內部之熱傳導與外部之熱發散的情形

倘若我們欲將各種材料棒之內部導熱係數，彼此互相比較，則我們必須要使它們具有相等的橫切面以及相同的表面情況才可以（鍍銀或鍍鎳）。

【內插法】(Interpolation)

根據兩物理量之函數圖形求出在觀測範圍內之新數據的方法稱爲內插法。

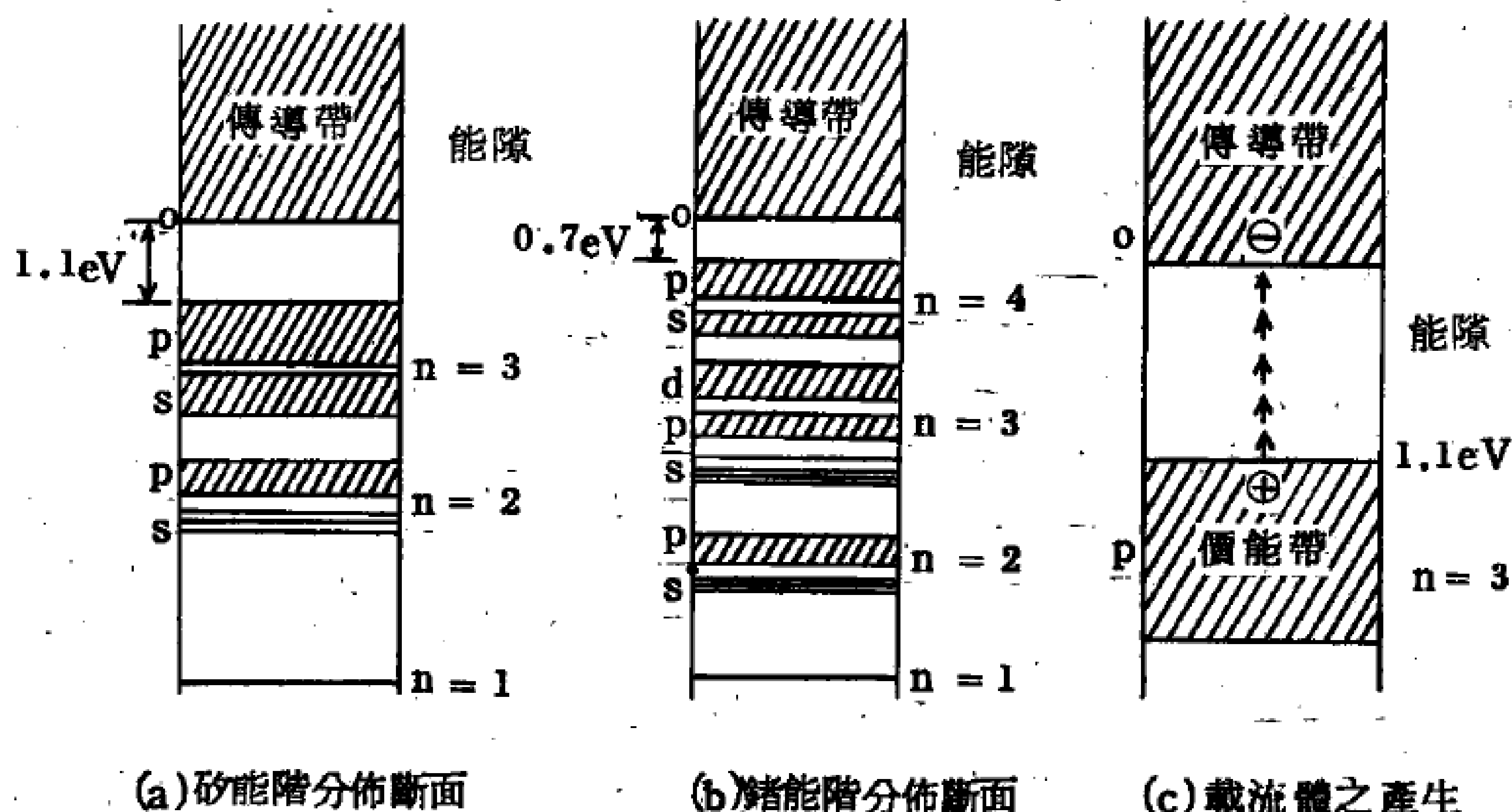
例如有很多球體，其半徑與體積均經測定並予以紀錄。今將紀錄所得繪於坐標紙上，以橫坐標表半徑。縱坐標表體積，而每一個點代表一個球體。再以光滑曲線聯接各點而成半徑與體積之函數關係曲線。根據此繪出之曲線，可以讀出某一個只測過其半徑而未知其體積之球體的體積；或只知其體積而未測其半徑之球體的半徑。此即爲內插法。只要該曲線是可靠的，則此法之應用必定有效。就球體而言，體積與半徑有 $V = \frac{4\pi}{3}R^3$ 之關係，故知球體體積隨其半徑作連續性的改變。故經由量度所得之點必成圓滑之連續曲線。若某種數據之關係並無公式之根據，僅憑實驗結果而繪成圓滑曲線，而在某區域內，曲線之變化量較大，則在實驗時，必需注意。在此變化較大之處，需多作實驗，多取數據，使各點之間隔極爲接近，方能確保內插法之效果。至於函數圖形不可能以圓滑連續之曲線表示時，則在曲線不連續或不圓滑之部分內插法不能適用。

【內稟半導體】(Intrinsic semiconductor)

在理想半導體內，由於電洞 (*hole*) 是因電子自價能帶躍入傳導帶而形成，所以傳導帶中的電子數，與價能帶中的電洞數相等。半導體的導電性，則因傳導電子及電洞的數量而定。但是傳導電子數，又由固體天生的晶體結構及原子構造而決定，因爲傳導電子數取決於禁戒能隙的寬度，而這一寬度，則取決於晶體的結構與原子構造，這種晶體稱作內稟半導體。任何不合於理想晶體的部分，例如：外來的異類原子 (*foreign impurity atoms*) 等，都會強烈改變半導體天賦的特性。實際上就是因爲微小的化學成分之變化能夠改變晶體的電性，才使半

導體有如此廣泛的用途。

原子的能階分佈如圖 4 — 43 (*a*)(*b*) 所示，鍺原子禁區能量為 0.7*eV*，矽原子為 1.1*eV*。



(a)矽能階分佈斷面　(b)鍺能階分佈斷面　(c)載流體之產生

圖 4 — 43

圖 4 — 43 (*c*) 表示電子越過禁區能階進入傳導帶 (*conduction bond*)，價能帶中則遺留正離子 (電洞)。此受能量作用 (或熱效應等) 進入傳導帶的自由電子，當外加電場作用時，則傳導帶中電子有足夠動量與加速度產生電流。當無外加電場情況時，電子與電洞可能互相漫散運動，傳導帶卻無電流可以流動。

已知純鍺共價結合之晶體結構，每一原子有四個電子，此四個電子與臨近原子的共用或稱之共價結合 (即共價鍵；*covalent bond*)。在共價結合每一電子互相作用力很強，因此在晶體中無自由電子運動。半導體在絕對零度，價能帶中充滿電子，故傳導帶中無電子發生。因此不能有導電的電子，於是在絕對零度時鍺晶體具有的特性稱為內稟半導體，它的本質是屬於絕緣特性。

假如內稟半導體受外加足夠能量激勵，此激勵能量可能為熱能，可能為其他原子之滲入，或者是外來光的能量作用此晶體（矽原子所需為 1.1*eV*、鍺原子需 0.7*eV*）。價能帶中充滿的電子受激，電子進入傳導帶，導電可能發生。在導電進行中，價能帶中電子被釋出遺留一空位，即晶體結構產生一電洞。此電洞相當於一正電荷。於是電洞與自由電子係成對發生。

此兩個電荷載子（*charge carriers*）一為自由電子；一為電洞，電子從充滿之價能帶中逸出，價能帶中成不充滿狀態。

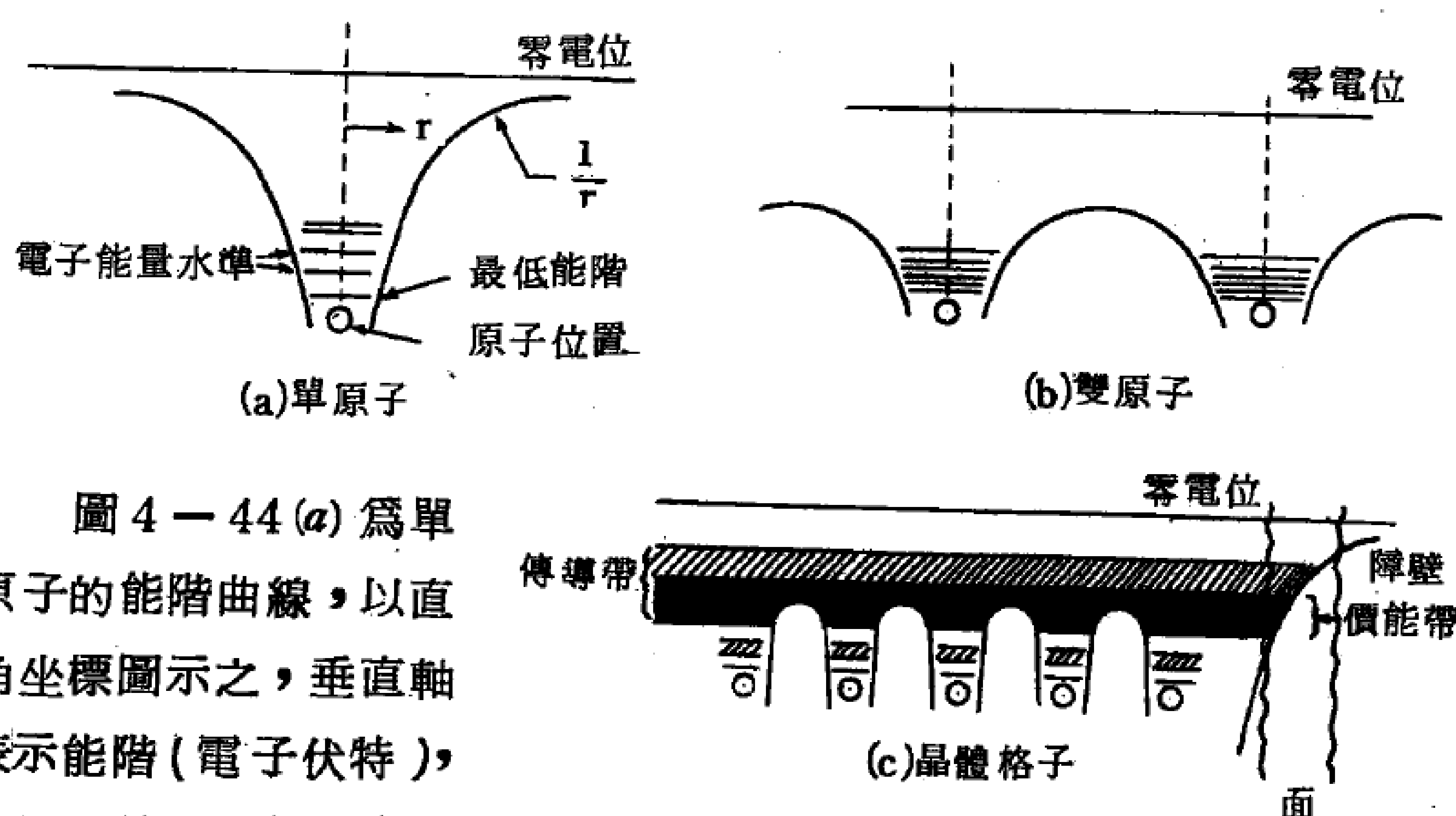


圖 4－44 原子能階曲線圖示法

圖 4－44(*a*) 為單原子的能階曲線，以直角坐標圖示之，垂直軸表示能階（電子伏特），以原子核為最低能階，則拋物線表示電子的位能曲線，水平軸表示核與核間之距離。

圖 4－44(*b*) 為雙原子的能階曲線，一個原子核的電子移至另一原子核附近所需的能量可以減低，故兩相鄰之能階曲線較低，表示原子核對電子束縛力較強。

圖 4－44(*c*) 為晶體結構之能階曲線，較低能帶中全為電子所充滿，近原子核處之能階曲線甚為穩定，即能階無變化，唯近表面的能階變化較大，外加能量克服此表面之障壁，電子即可進入傳導帶，通常在室

溫以下時，純半導體的傳導帶中無電子活動。

假如有一電場作用（左端爲負，右端爲正），能使電子在傳導帶中移至右端，而電洞在價能帶中導電移向左端，事實上電洞移動速度很小。但共價結合有一電子必趨向墊補此電洞，於是靠左邊產生第二電洞，相當於電洞是循電場逆方向移動。

因此內稟半導體導電時的電流可分爲二種成分，電子流的流動是在傳導帶中流動，電洞則在價能帶中移動。

電子與電洞的流動數是相對的。因此我們稱電子是內稟半導體的主要載流體（*majority carriers*）。電洞爲次要流動體（*minority carriers*）。

半導體受熱或光能的激勵，發生成對電子電洞（圖 4 — 45），這種分離動態，除非一個電場的出現，使其導電僅是暫時性的動態，此現象發生一次，電子電洞分離，在晶體中重結合之前，有一定的壽命，鍺晶體大約在 10^{-4} 秒之時間，這一關係在解釋場效電晶體 *FET* 動作時非常有用。

在室溫，電子能夠由價能帶跳越至傳導帶，則價能帶中遺留電洞（

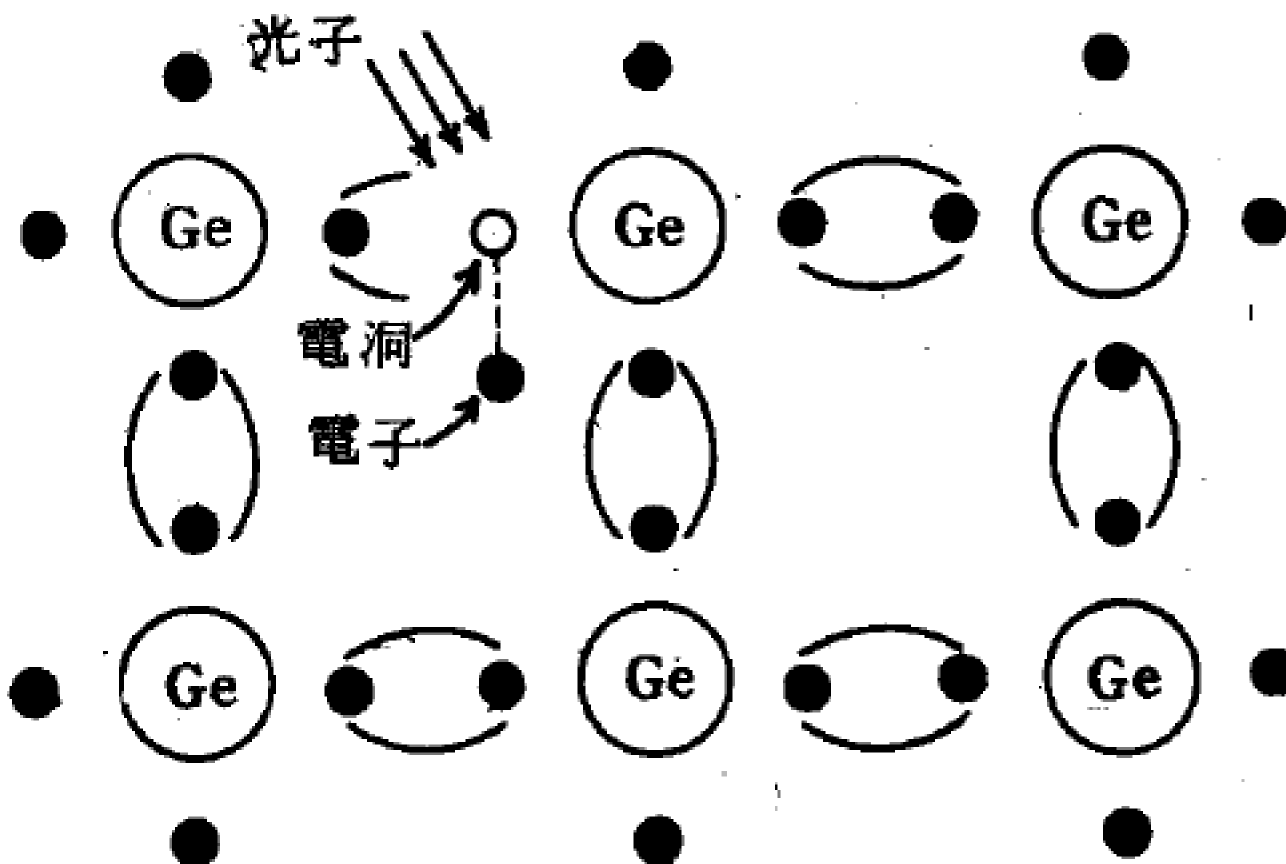


圖 4 — 45
電子－電洞之成對發生可由光子的激勵

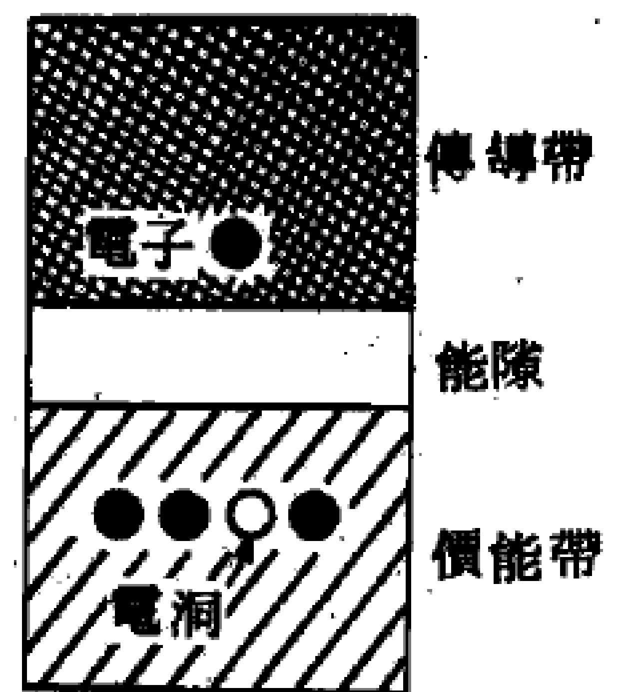


圖 4 — 46
內稟半導體電子進入傳導帶則價能帶中有一空位

圖 4 — 46），純晶體傳導帶中電子稀疏爲價能帶中電洞所對應，在絕

對零度，電子與電洞維持結合，故稱為電子－電洞對（*electron-hole pairs*），亦可謂物質維持在電子－電洞對情況時稱為內稟半導體。

【內稟流動性】（Intrinsic mobility）

內在半導體內的電子移動性，電子移動性與溫度成正比。

【內稟電阻率】（Intrinsic electric resistivity）

溫度較高時，在雜質成分極低或雜質不會電離的半導體或某些離子性晶體中，其導電性質與該物質的本性有關，而與晶體內的雜質無關。此時這晶體的電阻率即是內稟電阻率，此現象只存在於一定溫度範圍內，這溫度範圍稱之為內稟溫度範圍。

【內電阻】（Internal resistance）

內電路上的電阻稱為內電阻。

【內電場】（Internal electric field）

吾人所欲研討的物質，若為稀疏的氣體，亦即分子間的相互作用可以忽略時，則作用於分子的電場可視為外電場，在通常情形，分子之間必呈相互作用，因而作用於分子的電場不只是外加電場。除外加電場，其他分子所持的偶極矩對該分子亦施以電場。尤在物質如固態或液態之情形，其他分子或原子，將施以甚強的電場於某一特定分子，或原子所在的位置。於是，作用於某一特定分子的電場，當外加電場一定時，須視在該分子周圍其他分子的分佈及其性質而定。此種電場通稱為局部電場（*local electric field*），或稱為內電場。

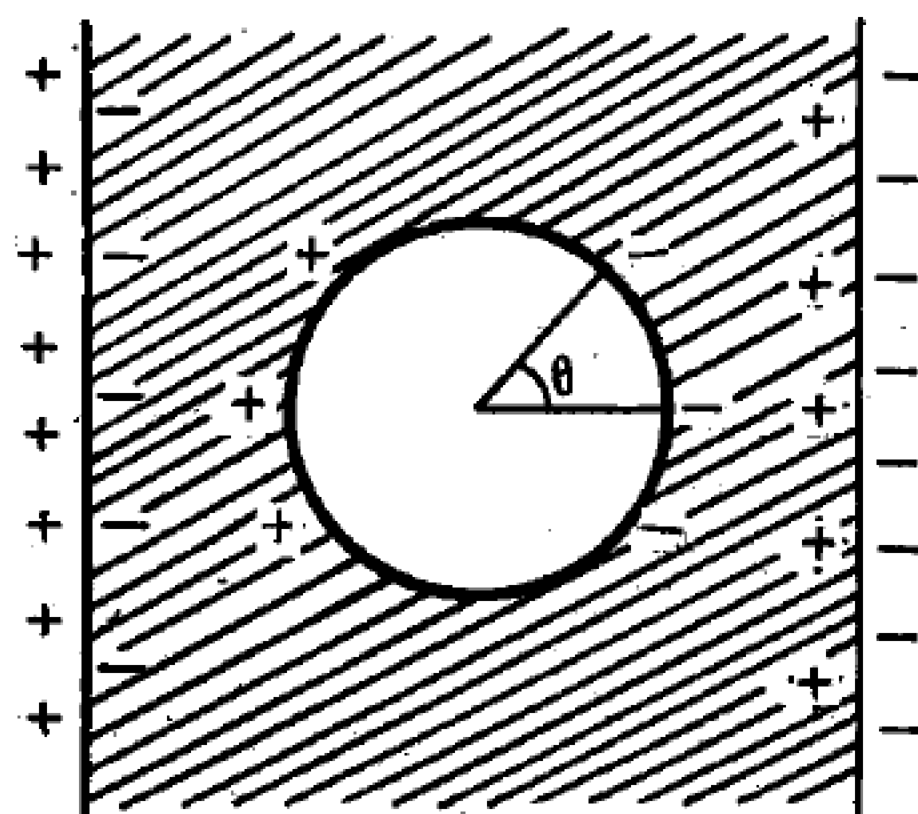


圖 4 — 47

為討論上方便，先就固體求內電場，從而推出其一般公式，以適用於密度較大的氣體。在固體狀的

介質中，設想以某一特定原子爲中心的小球形區域。此球之外方介質，對處在球心處的原子言，足可視爲均勻、連續且其介電常數爲靜電介電常數者（見圖 4 — 47 ）。於是，作用於某一特定原子的電場有四，即(1)外加電場 $\vec{E}_0$，(2)由於介質表面上的感應電荷所施的電場 $\vec{E}_1$，(3)假想球面上的感應電荷所施的電場 $\vec{E}_2$，(4)球內諸偶極子所施的電場 $\vec{E}_3$，故其內電場 $\vec{E}_{loc}$ 可寫作：

$$\vec{E}_{loc} = \vec{E}_0 + \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3$$

爲使問題簡單計，假設此介質處在兩平行板之間（如圖 4 — 47 所示），外加電場源於此二板上的電荷。在此種情形，E_0 可寫作：

$$E_0 = D = 4\pi q$$

但 q 爲平板上之電荷密度。此時之 E_1

$$E_1 = -4\pi P$$

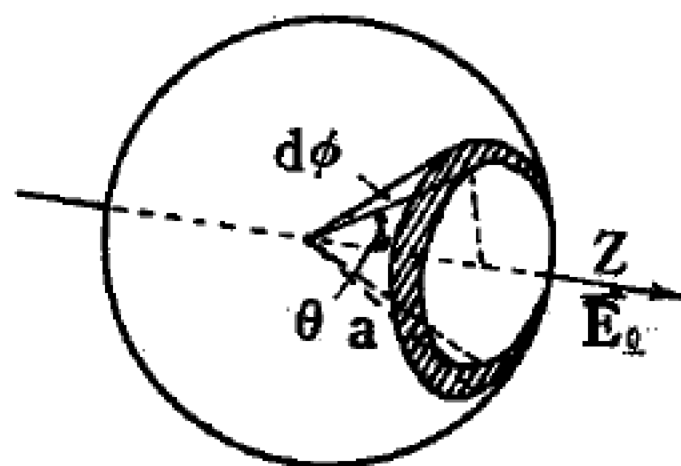


圖 4 — 48

再求因(3)施於某一特定原子的電場 E_2。如圖 4 — 48 所示的環上，任一面積爲 $a\sin\theta\, d\phi \cdot a d\theta$，因該環上的電荷密度（面密度）爲 $P\cos\theta$，故其任一面素上的電荷爲

$$dq = a\sin\theta\, d\phi\, a d\theta \cdot P\cos\theta$$

由此部分電荷產生在球心的電場強度爲

$$E = \frac{a\sin\theta d\phi a d\theta \cdot P\cos\theta}{a^2}$$

此電場強度就電場的方向可分爲二垂直成分，一向於電場；另一垂直電場，後者由對稱性可以互相抵銷，在外加電場方向的分量爲

$$\frac{a\sin\theta d\phi a d\theta \cdot P\cos\theta}{a^2}\cos\theta = \frac{a^2 P\cos^2\theta\sin\theta d\theta d\phi}{a^2}$$

由此，即可求出該球表面上的電荷，施於球心的電場 E_2

$$E_2 = \int_0^{\pi}\int_0^{2\pi} P\cos^2\theta\sin\theta d\theta d\phi = 2\pi P\int_0^{\pi}\cos^2\theta\sin\theta d\theta$$

$$= -2\pi P\int_{+1}^{-1}\cos^2\theta \cdot d(\cos\theta) = -2\pi P\left[\frac{\cos^3\theta}{3}\right]_{+1}^{-1}$$
$$= \frac{4}{3}\pi P$$

此E_2亦稱爲羅倫玆場(*Lorentz field*)。

次求由球內諸偶極子，施於球心上原子的電場E_3。E_3係視結晶構造而定。若某一特定原子或分子周圍之構造爲立方對稱，例如單純立方，體心立方或面心立方者，其E_3大致爲零。玆以單純立方格子，證之如次：對球內任一原子，球心的向徑及其坐標分別設爲r_i及x_i、y_i、z_i，任一原子的偶極矩在x、y及z方向的分量，若分別爲μ_{ix}、μ_{iy}及μ_{iz}，則它在球心的電位ϕ

$$\phi = \mu_{ix}\frac{\cos(r_i, x_i)}{r_i^2} + \mu_{iy}\frac{\cos(r_i, y_i)}{r_i^2} + \mu_{iz}\frac{\cos(r_i, z_i)}{r_i^2}$$

或 $$\phi = \mu_{ix}\frac{x_i}{r_i^3} + \mu_{iy}\frac{y_i}{r_i^3} + \mu_{iz}\frac{z_i}{r_i^3}$$

設外電場向於z向。由此得

$$\frac{\partial\phi}{\partial z_i} = -3\mu_{ix}\frac{x_i\partial r_i}{r_i^4\partial z_i} - 3\mu_{iy}\frac{y_i\partial r_i}{r_i^4\partial z_i} + \mu_{iz}\left(\frac{1}{r_i^3} - \frac{3z_i\partial r_i}{r_i^4\partial z_i}\right)$$

又由 $r_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2 + z_i^2}$，得 $\frac{\partial r_i}{\partial z_i} = \frac{z_i}{r_i}$，故

$$\frac{\partial\phi}{\partial z_i} = -\mu_{ix}\frac{3x_i z_i}{r_i^4 r_i} - \mu_{iy}\frac{3y_i z_i}{r_i^4 r_i} + \mu_{iz}\left(\frac{1}{r_i^3} - \frac{3z_i z_i}{r_i^4 r_i}\right)$$
$$= -\mu_{ix}\frac{3x_i z_i}{r_i^5} - \mu_{iy}\frac{3y_i z_i}{r_i^5} + \mu_{iz}\left(\frac{1}{r_i^3} - \frac{3z_i^2}{r_i^5}\right)$$

其施於z向的電場強度爲

$$-\frac{\partial\phi}{\partial z_i} = \mu_{ix}\frac{3x_i z_i}{r_i^5} + \mu_{iy}\frac{3y_i z_i}{r_i^5} - \mu_{iz}\left(\frac{3z_i^2 - r_i^2}{r_i^5}\right)$$

若就球內所有原子之和，即得E_3

$$E_s=\sum_i\left[\mu_{ix}\frac{3x_iz_i}{r_i^5}+\mu_{iy}\frac{3y_iz_i}{r_i^5}+\mu_{iz}\left(\frac{3z_i^2-r_i^2}{r_i^5}\right)\right]$$

孤立原子外側電子的分佈可視為球對稱，亦即其電子重心與核者在同一點上，若組成物質的原子為如是者，則$\mu_{ix}=\mu_{iy}=0$，因此E_s而為

$$E_s=\sum_i\frac{3\mu_{iz}z_i^2-\mu_{iz}r_i^2}{r_i^5}$$

若 i 號原子所具的偶極矩為μ_i，則E_s尚可改寫作：

$$E_s=\sum_i\frac{3\mu_iz_i^2-\mu_ir_i^2}{r_i^5}$$

或寫作：$$E_s=\mu_i\sum_i\frac{3z_i^2-r_i^2}{r_i^5}=\mu_i\left(\sum_i\frac{3z_i^2}{r_i^5}-\sum_i r_i^2/r_i^5\right)$$

由球內格子的對稱性，可得$\sum_i x_i^2=\sum_i y_i^2=\sum_i z_i^2=\frac{1}{3}\sum_i r_i^2$，故

$$\sum_i\frac{z_i^2}{r_i^5}=\sum_i\frac{x_i^2}{r_i^5}=\sum_i\frac{y_i^2}{r_i^5}=\frac{1}{3}\sum_i\frac{r_i^2}{r_i^5}$$

將此等關係代入上式，即得$E_s=0$。此種結果亦可適用於體心立方、面心立方等結晶。總而言之，原子分佈為均一時，其E_s等於零。但亦有例外者，如$BaTiO_3$之$E_s\neq0$。

綜括以上所述，若$E_s=0$，則內電場E_{loc}為

$$E_{loc}=D-4\pi P+\frac{4}{3}\pi P=E+\frac{4}{3}\pi P$$

對某種結晶，如$E_s\neq0$，則E_{loc}將為

$$E_{loc}=E+\gamma P$$

此為內電場之一般公式，僅在$E_s=0$時，其$\gamma=\frac{4}{3}\pi$。如果一物質係由幾種原子所組成，由於不同原子周遭之情況的不同，則第一種原子處的內電場，必異於第二種原子處的內電場，在此種情形常以

$$E_{loc,1}=E+\gamma_1P\qquad E_{loc,2}=E+\gamma_2P$$

分別表示第一種原子及第二種原子處的內電場，γ 通稱為內電場常數（

local field constant)。

【內電路】(Internal circuit)

電流在電池內部所經之路線稱爲內電路。

【內聚力】(Cohesion)

同類分子間之引力稱爲內聚力；其大小隨物質密度而正變，內聚力大者無滲透壓力。

【內聚功】(Cohesional work)

將一平方厘米的液體分爲二部分所需之功稱爲內聚功。

【內聚能】(Cohesive energy)

內聚能是對固體的穩定性一種能量上的量度。我們知道晶體的總能量(位能加動量)必小於同數目的自由中性原子在間隔距離極大時(不結合成固體)的能量，否則晶體結構不會穩定。內聚能就定義爲自由中性原子與晶體的總能量之差。內聚能的大小可由熱力學及光譜分析的數據得到。下表爲晶體元素的內聚能。

在 0°K 時自固體形式分離之中性原子所需的能量；括弧中之數值爲在 298.15°K 或在熔點，採用兩者中較低的溫度。將表中仟卡/克分子之能量值乘以 4.186×10^{3}，即得焦耳/克分子之能量。將 eV/原子之能量值，乘以 1.6019×10^{-12}，即得爾格/原子之能量。

$\longleftarrow$ eV/原子 $\longrightarrow$

$\longleftarrow$ 仟卡/克分子 $\longrightarrow$

H 4.48 103																	He
Li 1.65 38.0	Be 3.33 76.9											B 5.81 134.	C 7.36 170.	N (114)	C (60)	F. (20)	Ne 0.02 0.45
Na 1.13 26.0	Mg 1.53 35.3											Al 3.34 76.9	Si 4.64 107	P (79.2)	S 2.86 66.1	Cl (32.2)	Ar 0.080 1.85
K 0.941 21.2	Ca 1.825 42.1	Sc 3.93 90.6	Ti 4.855 112.0	V 5.30 122.	Cr 4.10 94.5	Mn 2.98 68.7	Fe 4.29 98.9	Co 4.387 101.2	Ni 4.435 102.3	Cu 3.50 80.8	Zn 1.35 31.1	Ga 2.78 64.2	Ge 3.87 89.3	As 3.0 69.	Se 2.13 49.2	Br 1.22 (28.2)	Kr 0.116 2.67
Rb 0.858 19.8	Sr (39.1)	Y 4.387 101.2	Zr 6.316 145.7	Nb 7.47 172.	Mo 6.810 157.1	Tc	Ru 6.615 152.6	Rh 5.752 132.7	Pd 3.936 90.8	Ag 2.96 68.3	Cd 1.160 26.76	In 2.6 59	Sn 3.12 71.9	Sb 2.7 62.	Te 2.0 46	I (25.6)	Xe (3.57)
Cs 0.827 19.1	Ba 1.86 (42.8)	La 4.491 103.6	Hf 6.35 146.	Ta 8.089 186.6	W 8.66 200.	Re 8.10 187.	Os (187)	Ir 6.93 160.	Pt 5.852 135.0	Au 3.78 87.3	Hg (0.694) (16.0)	Tl 1.87 43.2	Pb 2.04 47.0	Bi 2.15 49.6	Po (34.5)	At	Rn
Fr	Ra	Ac															

Ce 4.77 110	Pr 3.9 89	Nd 3.35 77.2	Pm	Sm 2.11 48.6	Eu 1.80 41.5	Gd 4.14 95.4	Tb 4.1 94	Dy 3.1 71	Ho 3.0 70	Er 3.3 77	Tm 2.6 59	Yb 1.6 36	Lu (4.4) (102)
Th 5.926 136.7	Pa 5.46 126	U 5.405 124.7	Np 4.55 105	Pu 4.0 92	Am 2.6 60	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lw

【內聚壓力】(Cohesional pressure)

由同類分子間之內聚力所造成的壓力稱爲內聚壓力。與其物質密度成正比。

【內滲現象】(Endosmosis)

當薄膜外部壓力高於內部壓力時，則發生內滲現象。

【內摩擦】(Internal friction)

流體的重要力學性質是黏滯性（即流動的阻抗性），從前稱爲內摩擦（或內耗）。

詳閱"黏滯性（*Viscosity*）"條。

【內積】(Inner product)

兩向量間或某些空間內的兩函數間，一種導出的純量，可以分配律運算，而且所得結果在兩向量或兩函數相同時，需爲正實數。由是可以定義長度的平方和度規。

就普通的向量而言，內積通常就是一般的純量積 $\vec{A}\cdot\vec{B}$。

在函數空間中，則需先定義一不遞減的實函數 σ，再將 ϕ 和 ψ 二函數的內積定義爲

$$(\phi, \psi) = \int \phi\psi d\sigma$$

其可分配性是

$$(\alpha_1\phi_1 + \alpha_2\phi_2, \psi) = \alpha_1(\phi_1, \psi) + \alpha_2(\phi_2, \psi)$$

及 $$(\phi, \beta_1\psi_1 + \beta_2\psi_2) = \beta_1(\phi, \psi_1) + \beta_2(\phi, \psi_2)$$

式中 α_1、α_2、β_1、β_2 均爲純量。

推廣之，張量間如下述方式定義的乘積亦稱內積：

$$C^i_{pq} = A^{ij}B_{jpq}$$

其中 A^{ij} 是二階反變張量，B_{jpq} 是三階協變張量，而其內積 C^i_{pq} 則爲一混合張量。

參閱"純量積（*Scalar product*）"條。

【內燃機】(Internal combustion engine)

二十世紀初所有內燃機的共通特性是燃料在氣缸內燃燒。此種引擎，可以分成兩類：(1)用於汽車和飛機的汽油機，以定容循環（*constant volume cycle* ）或稱奧托循環（ *Otto cycle* ）工作。(2)用於重型車輛、公共汽車、鐵路機車和船舶的柴油機，則以定壓循環（ *constant pressure cycle* ）或稱狄則耳循環（ *Diesel cycle* ）工作。在這兩類中，又可依使用四衝程循環（ *four-stroke cycle* ）或二衝程循環（ *two-stroke cycle* ）而再分類。

非常普遍的四衝程汽油機的工作程序為：

1. 進氣衝程（ *intake stroke* ）—— 或稱吸氣衝程（ *suction stroke* ），活塞在氣缸內向外退出衝程時，空氣和氣化汽油的混合氣體被吸入氣缸。汽油則係在通過氣化器的細噴管時完全氣化。

2. 壓縮衝程（ *compression stroke* ）——當活塞返回衝程時，混合氣體被壓縮，並在這一衝程的末端由火花點火。當活塞接近上死點（ *top dead center* ；簡稱T.D.C. ）時，混合氣體的燃燒氣體之熱發生得非常快，所以稱做定容循環。

3. 動力衝程（ *power stroke* ）——或稱膨脹衝程（ *explosion stroke* ）， 熱氣體膨脹，在活塞上作功。

4. 排氣衝程（ *exhaust stroke* ）—— 此時排氣閥開啓，燃燒過的氣體被返回衝程中的活塞驅出。

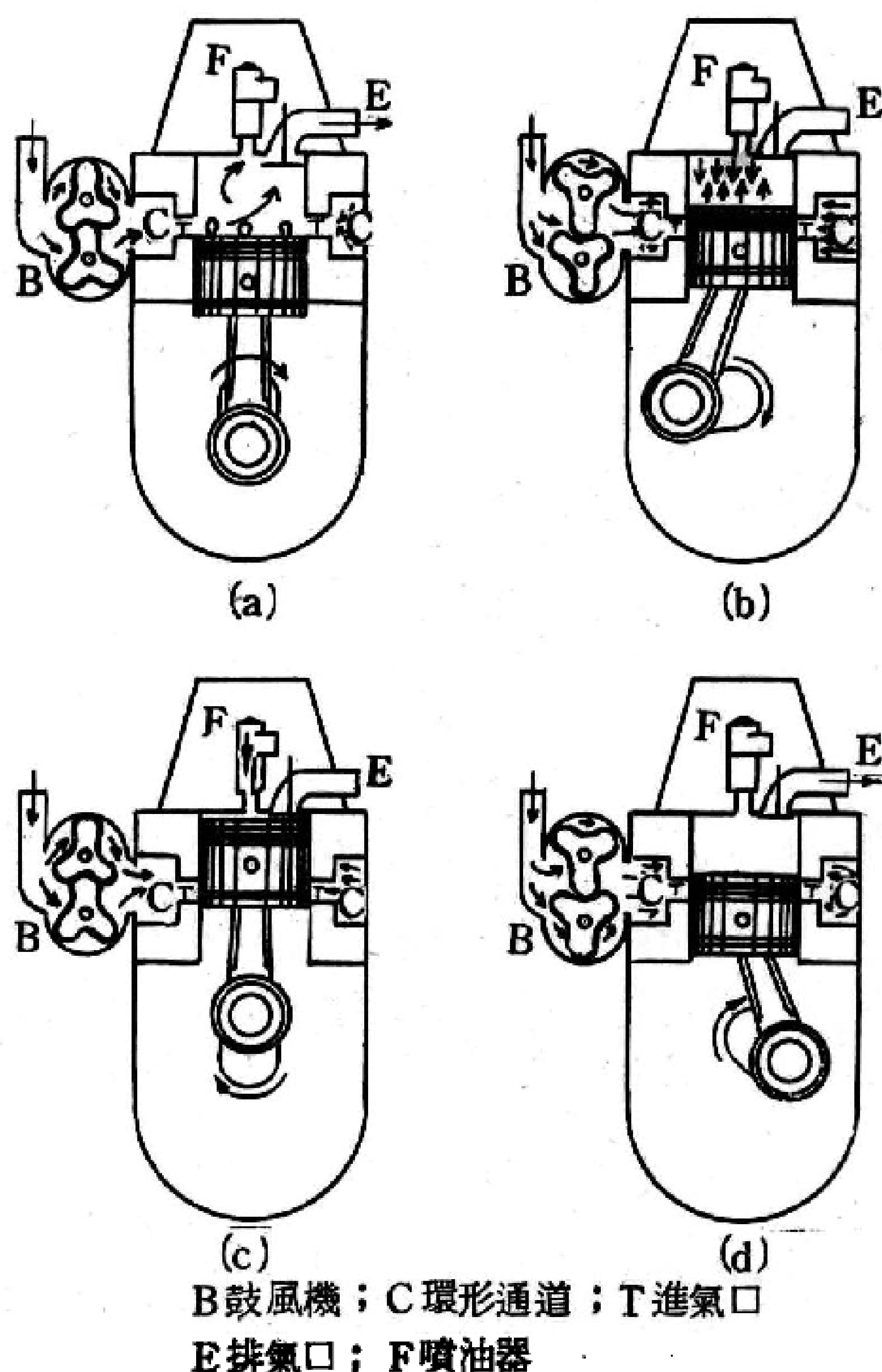
壓縮和膨脹兩衝程一切內燃機都有，而吸氣和排氣兩衝程在二衝程引擎中則被除去，而利用在膨脹衝程末端（下死點 *bottom dead center*；簡稱B.D.C.）迅速送入新鮮混合氣體，並趕出已燃燒過的氣體。為達成此一動作，新鮮混合氣體須在氣缸之外的容器中先行壓縮。在小型引擎中，這一動作就利用曲軸箱由活塞的外退衝程中完成。但在大型引擎中，這項壓縮工作則由引擎曲軸驅動的獨立鼓風機施行。

在柴油機中，純淨空氣進入氣缸後，以非常高的壓縮比壓縮，所以溫度急速升高，超過了燃料的點火溫度。到接近壓縮衝程的末端時，柴油經氣缸蓋上的噴油器以壓力噴入氣缸。油料與高熱空氣混合後即開始燃燒。膨脹衝程起始一段時間內仍繼續噴油，但經適當管制，雖已開始膨脹，氣缸中仍因混合氣體的繼續燃燒而保持恆定高壓（所以叫做定壓循環，也叫狄則耳循環）。噴油停止後，高熱氣體繼續膨脹，推動活塞而傳動力於曲軸。

柴油機像汽油機一樣，可以造成四衝程和二衝程兩種引擎。在第一種情形，動力衝程（或叫膨脹衝程）之後緊跟著的為排氣衝程以驅出燃燒過的氣體。第二次進氣（或吸氣）衝程時再吸入空氣，接下去就是如上所說的壓縮衝程。

在二衝程柴油機（圖 4 — 49）中，空氣由引擎曲軸經過齒輪驅動的鼓風機 *B* 所供給。該項齒輪在圖中沒有表示出來。

這四種工作相（*phase*）見圖 4 — 49。



B鼓風機；C環形通道；T進氣口
E排氣口；F噴油器

圖 4 — 49　二衝程柴油機的四種工作相

圖 4 — 49(*a*) 中活塞在走完動力衝程後已經到了下死點（*B.D.C.*），打開進氣口 *T*，於是由鼓風機 *B* 吹送的壓力空氣經環形通道 *C* 衝進氣缸，而燃燒過的氣體則經排

氣口E及已經頂開的排氣閥驅出機外，操縱排氣閥的凸輪軸不在圖中。

圖4—49(*b*)中為從下死點上行約$80°$的狀態。此時活塞遮斷了進氣口，凸輪軸則關閉了排氣閥，空氣正在被壓縮的階段。

圖4—49(*c*)中上死點(*TDC*)。空氣已被壓縮到只有氣缸容積約十六分之一的餘隙空間。若在壓縮衝程時溫度保持不變，則根據波義耳定律，壓力應與容積成反比上升即初壓力的十六倍。事實上迅速的壓縮呈絕熱狀態發生，因此溫度也升高到大約$900°F$，或約$480°C$(即$753°K$)，壓力則大約為50 *atm*。在很短的時間內，當曲拐走行到從上死點前$15°$到上死點$15°$後，燃油以高壓噴入氣缸而在高熱空氣中燃燒。噴油時間的選擇，應考慮燃料有幾個微秒的延遲點火，以配合活塞在剛過上死點後，立刻開始燃燒並升高壓力。

圖4—49(*d*)中燃燒衝程，或動力衝程。燃燒中及燃燒後所產生的高熱氣體膨脹，即在曲軸上作功。在圖示的位置，排氣閥恰好開始開啓，緊跟著活塞上緣也開啓了進氣口而讓空氣進入，並逐出燃燒過的氣體以準備第二次的循環。

【內壓降】(Internal drop)

因電源本身具有內電阻故在電源內部產生電壓降。如電源電動勢為E，電源內電阻為R_i，接於此電源的外電路中的電壓為V，則根據歐姆定律得$V=E-R_iI$，式中I為電路中的電流強度。由此可見，外電路中的電壓小於電源的電動勢，其差值為R_iI，此值便是電源的內壓降。

【內轉動】(Internal rotation)

在許多化學分子中，分子中的一部分常會繞著某固定的軸線，對分子中其餘的部分轉動，這種現象稱為內轉動。例如，二甲基乙炔(*dimethylacetylene*, $CH_3C:CCH_3$)分子，其中的一個甲基(CH_3)繞著穿過碳原子的軸線，對分子中的其他部分轉動；這種轉動因幾乎不

受到外力的影響，故可視之爲一種自由轉動。但在乙烯（ CH_3CH_3 ）分子中，其內轉動的情形即與上例不同；兩甲基間有交互作用，其位能爲兩甲基與軸線間夾角的函數。一甲基繞軸轉動受到此交互作用力的影響，稱之爲受阻轉動（ *hindered rotation* ）。

內轉動對物質的熱力學性質、介電常數、物質的光譜及能障（ *energy barrier* ） 等都有影響。尤其在紅外線光譜、拉曼光譜、微波光譜及核磁共振光譜的譜線所生成的效應更爲顯著。

【內轉動勢障】（ Barriers to internal rotation ）

兩原子團間若以單鍵相互結合時，通常此二原子團可繞單鍵作相當自由的轉動，這種運動稱爲分子的內轉動。但有些單鍵結合的分子，其轉動光譜往往相當複雜，表示在常溫下此種分子可以一種以上之幾何形式存在，每種型式的分子可經過一相當之勢障而作內轉動，內轉動的勢障甚低，但決定於單鍵兩端的原子集團，一般高度在 3 仟卡／克分子或 0.1eV 左右。

【內變換】（ Internal conversion）

受激的原子核，通常放射 γ 射線而躍遷至較低能階的狀態，如圖 4 — 50 所示，但有時在躍遷過程中不放射 γ 射線，而放出在核外 K、L 等軌道上的電子，變至較低的能階，此現象稱爲 γ 射線的內變換。內變換的機率與放射 γ 射線的機率之比，稱爲內變換係數（ *internal conversion coefficient* ），此爲研究原子核躍遷性質時所不可缺少的資料。內變換結果電子軌道上所形成的電洞（ *hole* ），由在高能階的電子充填之，並有 X 射線隨之放出。有時也有代替 X 射線

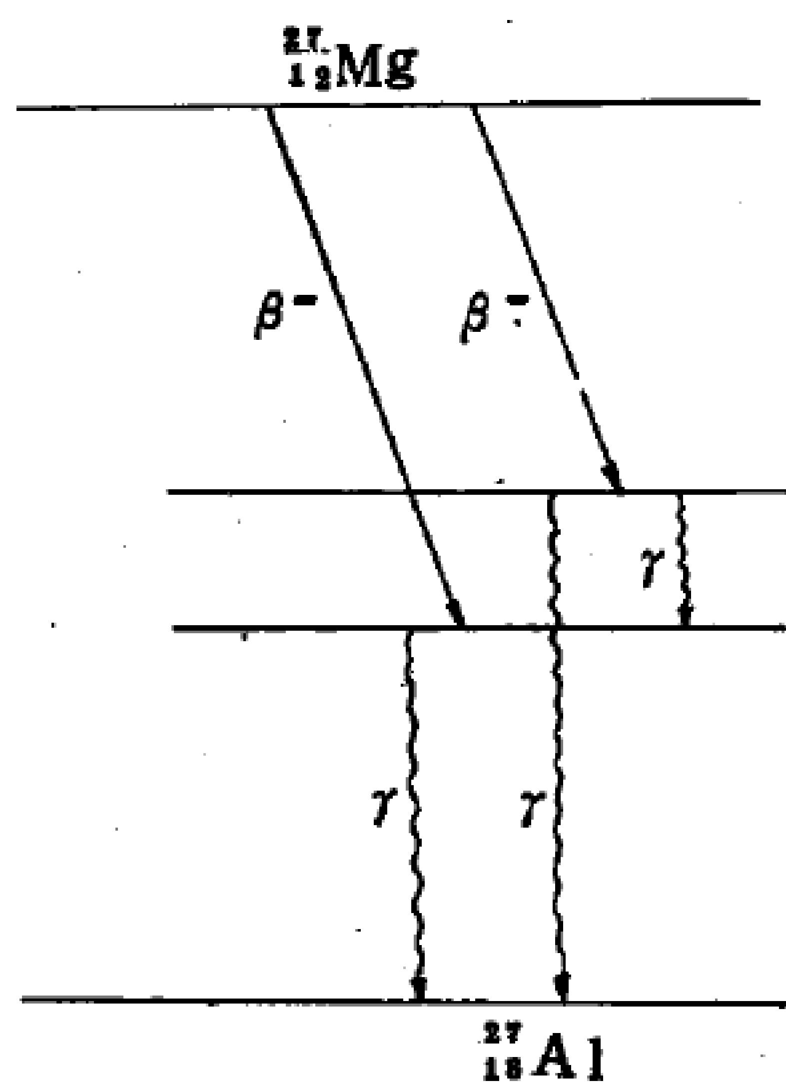


圖 4 — 50
$^{27}_{12}$Mg 在連續經 β 和 γ 的放射而衰變成 $^{27}_{13}$Al

而放出電子的現象，這稱爲鄂惹效應（*Auger effect*）。

【六－*j*－符號】（Six－j－symbol）

爲量子力學中角動量的再耦合，其表示法爲：

$$\begin{matrix} j_1 j_2 j_{12} \\ j_3 j \, j_{23} \end{matrix} = \left[(2j_{12}+1)(2j_{23}+1) \right]^{-\frac{1}{2}} (-1)^{j_1+j_2+j_3+j} \cdot$$

$$\sum_{all\,M} (j_{12}m_{12} \mid j_1m_1, j_2m_2)(jm \mid j_{12}m_{12}, j_3m_3)$$

$$\cdot (j_{23}m_{23} \mid j_2m_2, j_3m_3)(jm \mid j_1m_1, j_{23}m_{23})$$

【六方晶格】（Hexagonal lattice）

六方晶格是三維空間晶格的一種，如圖 4－51 所示。設 a、b 和 c 各爲晶體坐標軸各軸上的單位長度，則 $a = b \neq c$，且 a 與 b 間的夾角爲 120 度，b 與 c 及 a 與 c 間的夾角都是 90 度。在六方晶格中，通常單元晶胞是直角角柱，底部是菱形，且有一角爲 120 度。一般說來，單元晶胞並不一定是初基晶胞，但對六方晶格而言，此二者是相同的。

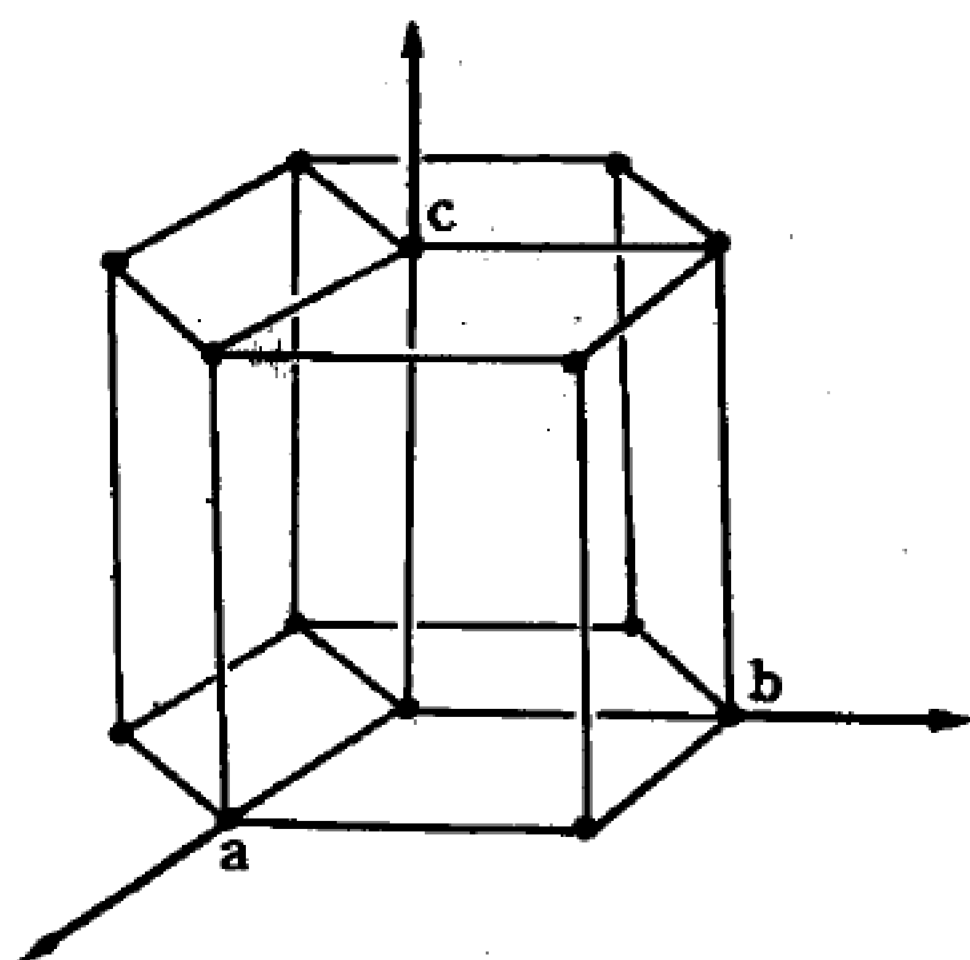


圖 4－51　六方晶格結構

【六角密集晶格】（Hexagonal closed-packed lattice）

通常簡稱 $H.C.P.$ 晶格。此種晶格是簡單六角晶格的半高面上，即 $\frac{1}{2}c$ 之面上多三個晶格點，此三晶格恰在正三角形之頂點上，而它在底面之投影，則各在相隔三角形之重心，如圖 4－52 所示。

在工業上應用甚多的鋅，其晶體構造即爲六角密集晶格，如圖 4－

53 所示。我們亦可將它看作由一組平面所構成，每一平面中的原子組

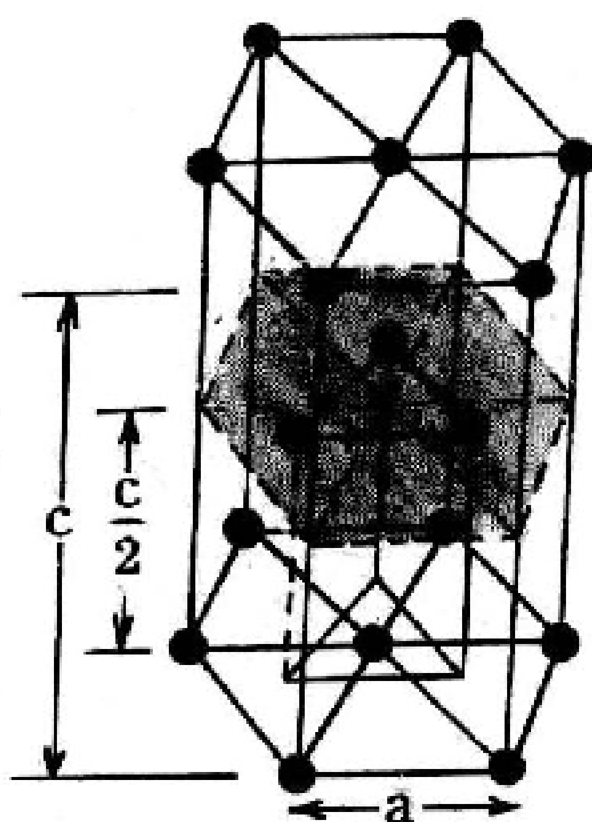


圖 4 — 52　H.C.P.晶格

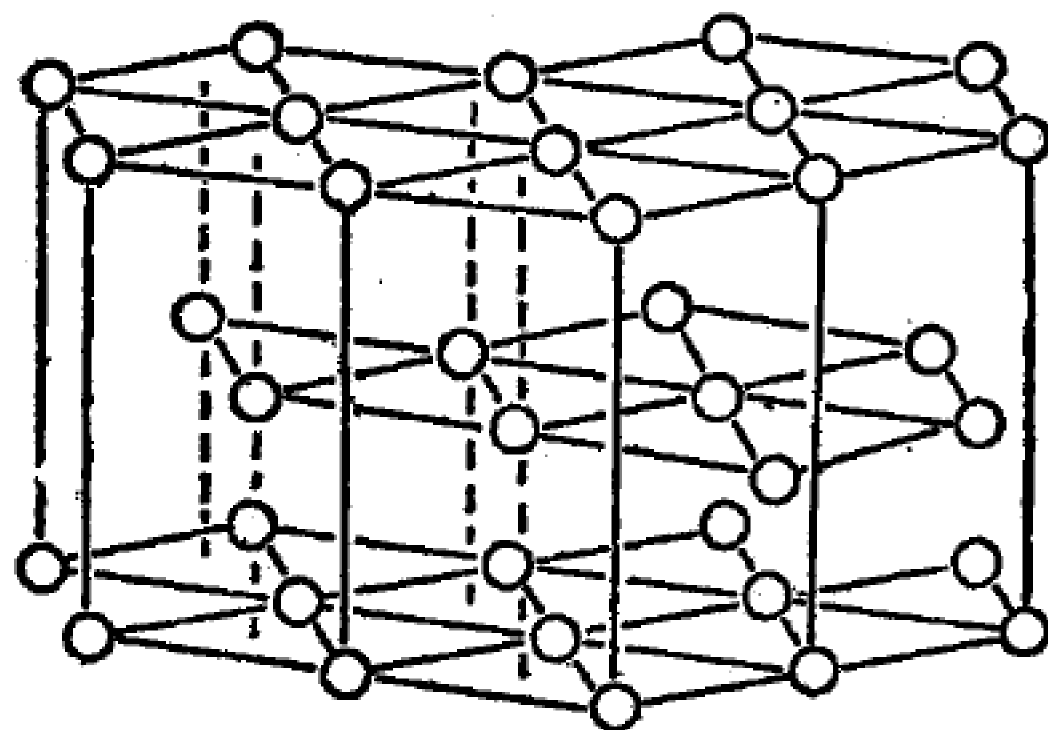


圖 4 — 53

鋅（Zn）的晶體結構。鎂（Mg）、鈹（Be）、鎘（Cd）及其他多種金屬均以此六角密集結構結晶

成三角形網狀，而每一原子的位置是在鄰層原子所形成之等邊三角形之重心。這種結晶構造極似面心立方體，與面心立方體同為塡集密度最大的晶體結構。如自面心立方體的對角線方向看去，即與此六角密集結構相似。

【六極混頻管】（Hexode mixer tube）

將接收信號與本機振盪信號輸入六極管，混合後檢出差頻輸至中放級。

【六極管】（Hexode ; Six-electrode tube）

具有六個電極的電子管。這六個極是：陰極、四個柵極和一個屏極。這種管應用於專門的目的，如在超外差式接收機內用作混頻管。

【公尺制】（Metric system）

公尺制是由法國所創的度量衡制度，1790年各國學者集會於巴黎，議定以經過巴黎的經線的四千萬分之一長作為長度單位"公尺"。1872年以鉑（*Pt*）和銥（*Ir*）的合金製成*H*形的金屬棒，兩棒之間的距離就是一公尺，這具公尺校準器現存於巴黎近郊的地下室內，一年四季維持著攝氏四度和其他條件，以保證它的穩定性。

公尺制的重量基本單位，是攝氏四度中一立方公尺的蒸餾水在中等地理緯度的海平面上的重量，稱爲一“公分”或一“克”。

公尺制的面積基本單位，是以十公尺的平方面積，稱爲一“公畝”。

公尺制的體積基本單位，是以百分之一公尺的立方體積，稱爲一“立方公分”。

公尺制的長度單位和質量單位，都以十進位，面積以百進位，體積以千進位。例如一公里等於一千公尺，一公噸等於一千公斤，計算便利，因此成爲國際間通用的度量衡制，全世界約有百分之九十的國家採用公尺制。

近代科學家和技術各領域中，需要更高的度量準確度，用做公尺校準器的鉑鉉合金棒，在各種條件的變化之下，仍有百萬分之幾的差異。

較準確的是利用光波作測量的標準。科學家利用液態氡（^{86}Rn）所發出的螢光光波長度和光速對比，所作出的長度標準只有一億分之一的差誤。這種測量方法也需要準確的時間的計量。利用雷射或微波放大器所發出的脈衝，而計算出一百億分之一秒的時間間隔。準確的時間和距離的計量，才能適合太空時代的要求。

無論工商業、教育、日常生活和科技問題的解決，都需要合理的度量衡制，公尺制就是比較理想的一種。

【公理】（ Axiom ）

凡經衆人公認的道理而不需經實驗以證明者，稱之爲公理。

【公理場論】（ Axiomatic field theory ）

1955年李曼（ *Lehmann* ）、西曼克（ *Symanzik* ）、西馬曼（ *Zimmermann* ）三人共同提出由若干公理開始研究局部量子場論的方法，得到許多在理論上十分嚴密的結果。他們放棄量子場論中的拉格朗日或漢彌頓，也不假設場方程式和交互作用的形式。這種理論的基礎是若干公理，例如羅倫茲不變性（ *Lorentz's invariance* ），眞空態的唯

一存在，場的局部性，各種單粒子或多粒子系統的能譜之合理性（如粒子的能量永遠爲正等）等。這種方法可證明若干色散關係，如派子核子前向散射色散關係，並且粒子的質量和電荷直接相當於一般場論中的再歸一質量和電荷。

【公噸】（ Metric ton ）

在英制重量單位中等於 2,240 磅或 1,016.047 仟克。美國通例以 2,000 磅即 907.2 仟克爲一公噸，是爲短噸，或稱之輕噸。而長噸（重噸）即指英噸。船舶載貨，多以 40 立方呎爲一噸，又稱之船運噸。

【公轉】（ Revolution ）

天體繞其他天體而轉之運動謂之公轉。例如行星繞日，衞星繞行星均是。

【切力】（ Shear ）

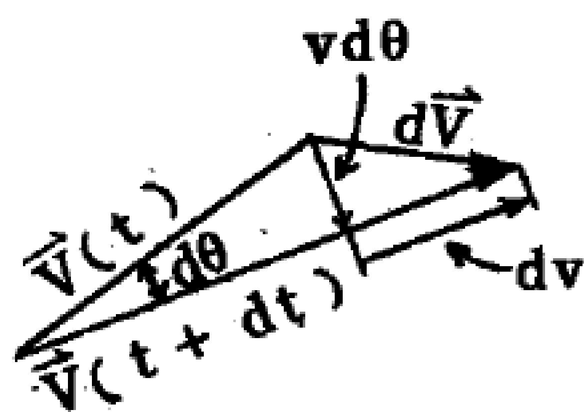
材料自側方受力時，此力便稱切力。切力與材料截面相平行。

【切線力】（ Tangential force ）

詳閱“切線加速度（ *Tangential acceleration* ）”條。

【切線加速度】（ Tangential acceleration ）

質點作曲線運動時，其速度的方向與曲線的切線方向相同。圖 4—54 中之曲線爲一質點的路程，若此質點在 P 點的速度爲 $\vec{v}$，經過 dt 時間後質點移到 Q 點，其速度變爲 $\vec{v}+\vec{dv}$。質點的速度



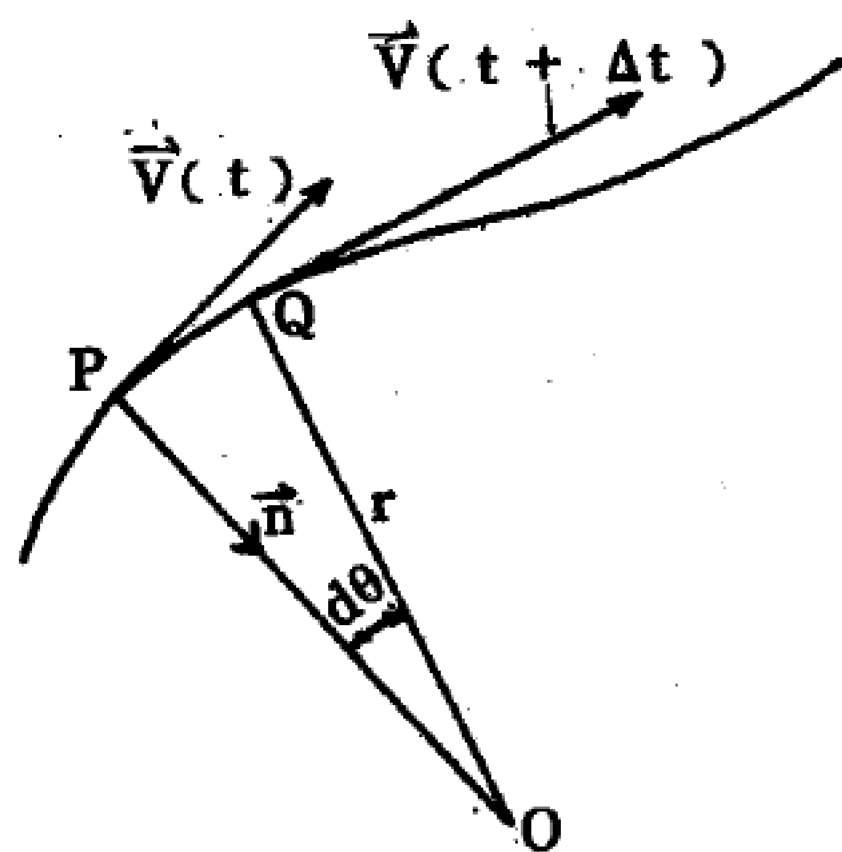


圖 4—54　曲線運動

增量 $\vec{dv}$ 可被分解成一沿切線的分量及一沿法線的分量。$\vec{dv}$ 沿切線方向的分量爲 dt 時間內質點的速率的改變量 dv，即 $|\vec{v}(t+dt)|$ 與

$|\vec{v}(t)|$的差。若$d\theta$為速度向量在dt時間內轉過的角度，則$\vec{dv}$沿法線方向的分量為$vd\theta$（如圖4—54所示）。設曲線在P點的切線方向的單位向量為$\vec{s}$，法線方向的單位向量為$\vec{n}$，則$\vec{dv}$可寫成

$$\vec{dv}=\vec{s}dv+\vec{n}vd\theta \qquad (1)$$

因為P點與Q點無限接近，故PQ弧可視為一圓弧的一段，此圓的半徑稱為曲線在P點（或其附近）的曲率半徑（*radius of curvature*）。圖中P點與Q點的法線相交於O點，這一交點即為PQ弧的曲率中心（*center of curvature*），$\overline{OP}$或$\overline{OQ}$的長度r即為曲率半徑。因質點由P點移到Q點費時dt，故PQ弧的長度為vdt，而弧長為曲率半徑r與$d\theta$之乘積，所以

$$vdt=rd\theta$$

因此

$$\frac{d\theta}{dt}=\frac{v}{r} \qquad (2)$$

將（1）式兩邊除以dt可得質點在P點的加速度向量，即

$$\vec{a}=\frac{\vec{dv}}{dt}=\vec{s}\,\frac{dv}{dt}+\vec{n}\,v\,\frac{d\theta}{dt} \qquad (3)$$

用（2）式消去上式的$\frac{d\theta}{dt}$，得

$$\vec{a}=\vec{s}\,\frac{dv}{dt}+\vec{n}\,\frac{v^2}{r}$$

上式中$\frac{dv}{dt}$為加速度$\vec{a}$沿切線方向（或$\vec{v}$的方向）的分量，故稱為質點的切線加速度$\vec{a_T}$，其值等於速率的時變率。$\frac{v^2}{r}$為$\vec{a}$沿法線方向的分量，故稱為質點的法線加速度$\vec{a_N}$，因其方向指向曲率中心，故又稱為向心加速度。因此

$$a_T=\frac{dv}{dt} \qquad a_N=\frac{v^2}{r}$$

加速度的大小爲

$$a=|\vec{a}|=\sqrt{a_T^2+a_N^2}=\left[\left(\frac{dv}{dt}\right)^2+\frac{v^4}{r^2}\right]^{\frac{1}{2}}$$

【切應力】（Shearing stress）

平行於物體表面之應力。又稱剪應力。

【切應變】（Shear strain）

因切力作用致使物體中相鄰粒子間彼此滑動而位移的現象。又稱剪應變。此切力平行於滑動平面，切應變度量之定義是二正交軸的角變量（弧度）。

彈性物質中，切應力與切應變成正比關係，其比值稱爲切應變係數或剛性係數。抗切強度的定義是物質所能忍受的最大切應力。理想流體的特點就是完全沒有抗切強度，而延展性物質的塑性則與抗切強度有密切關係。

在結構力學上，受應力作用的肱梁、扭轉中的軸和鉸釘等都會發生切應變。

【分力】（Component of force）

普通一力作用於物體而和物體所在平面傾斜時，常依此平面分爲平行和垂直方向的二分力。

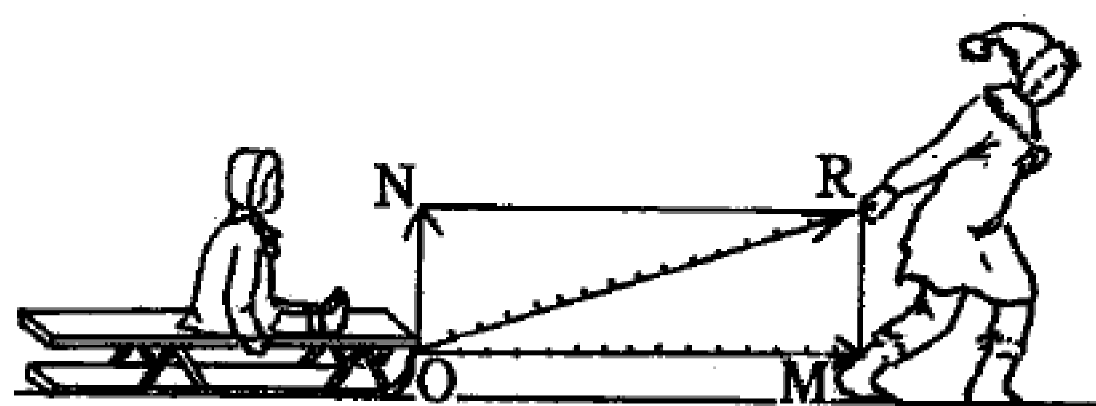


圖 4—55

如圖 4—55 一孩子用力在$\overrightarrow{OR}$方向曳一雪車，則使車前進的力爲其水平分力$\overrightarrow{OM}$，另一分力$\overrightarrow{ON}$則舉車向上；由圖可知$\overrightarrow{OM}$和$\overrightarrow{ON}$都比$\overrightarrow{OR}$爲小。

參閱“力之分解（*Decomposition of force*）”條。

【分子】（Molecule）

即尚能保持元素或化合物固有化學性質的最小微粒稱爲分子。

原子很少單獨存在，多半爲幾個不同的原子集合而成分子。有的分

子僅有數個原子（例如鹽酸的分子只有一個氫原子和一個氯原子圖 4—56(a)），有的分子有數百個原子，如蛋白質、酶素、核酸〔*DNA* 及 *RNA*（圖 4—57）〕，或其他有機聚合物〔像聚乙烯（***polyethylene***）及聚氯乙烯（***polyvinylchloride***（***PVC***））〕等。

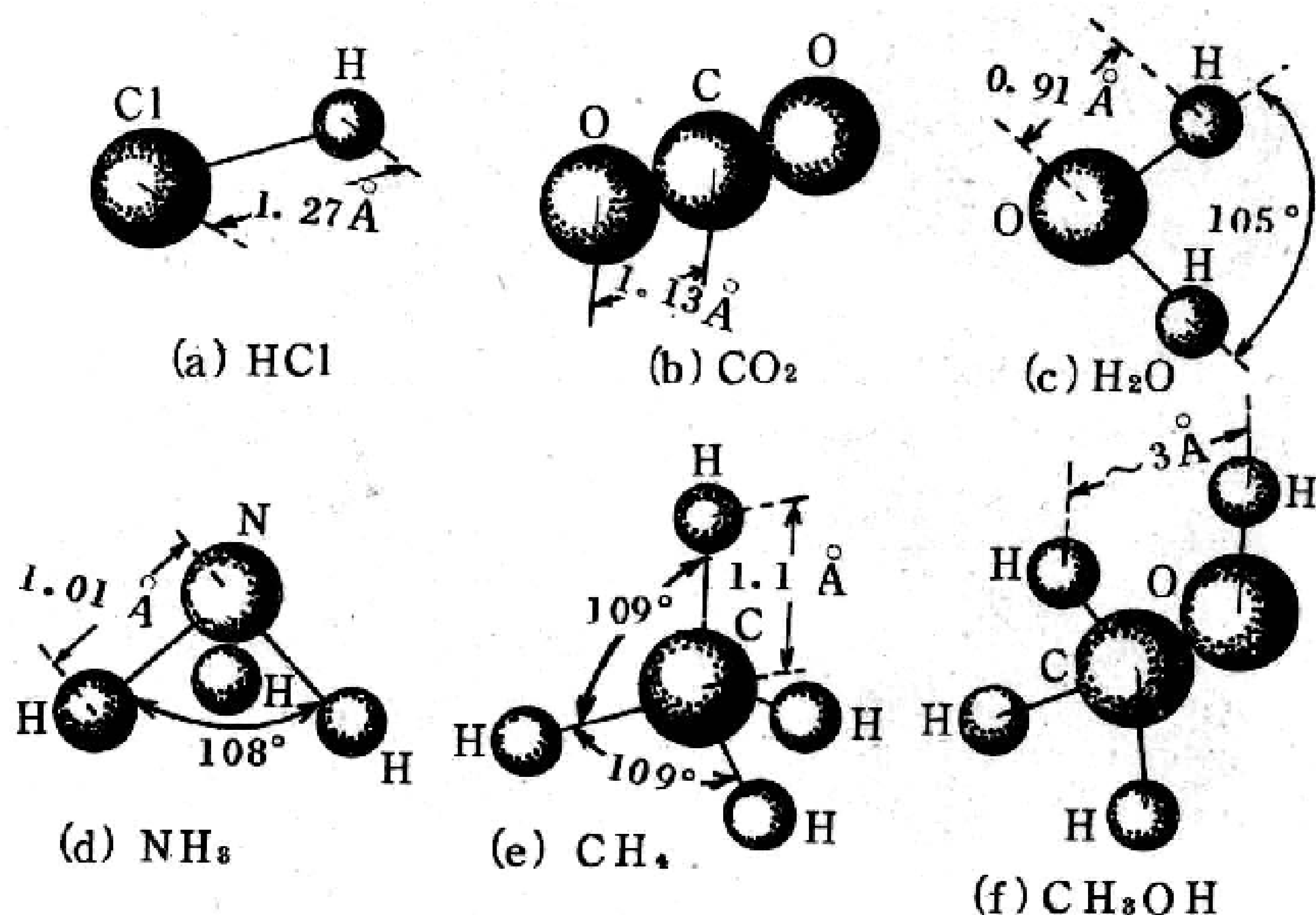
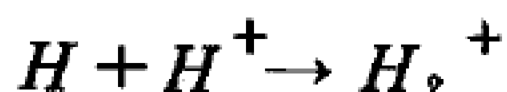


圖 4—56　一些較爲簡單的分子

在分子裏的原子按整齊的幾何圖案而排列，內層的電子仍留在個別的原子上，但外層的電子則在兩原子間的空間運動，或自由地繞著分子而運動。

當分子形成時，原子的本身就不存在了（到某一程度而已），換言之，幾個原子核組合成一系統，一羣電子又圍繞原子核而運動，形成一種固定的結構，這個就稱爲分子。更清楚地說，使得分子成一整體的力量最初來自電磁。最簡單的分子是氫分子離子 H_2^+，它包含 2 個質子和 1 個電子（圖 4—58），化學家將這分子的形成的公式寫爲



$$H + H^+ \rightarrow H_2^+$$

在這式中，H^+ 只是一個質子。也就是說，當一個氫原子得到一個質子時，就可形成一個 H_2^+ 分子。但當 H_2^+ 分子形成後，就很難區別那一個是氫原子，那一個是質子了。

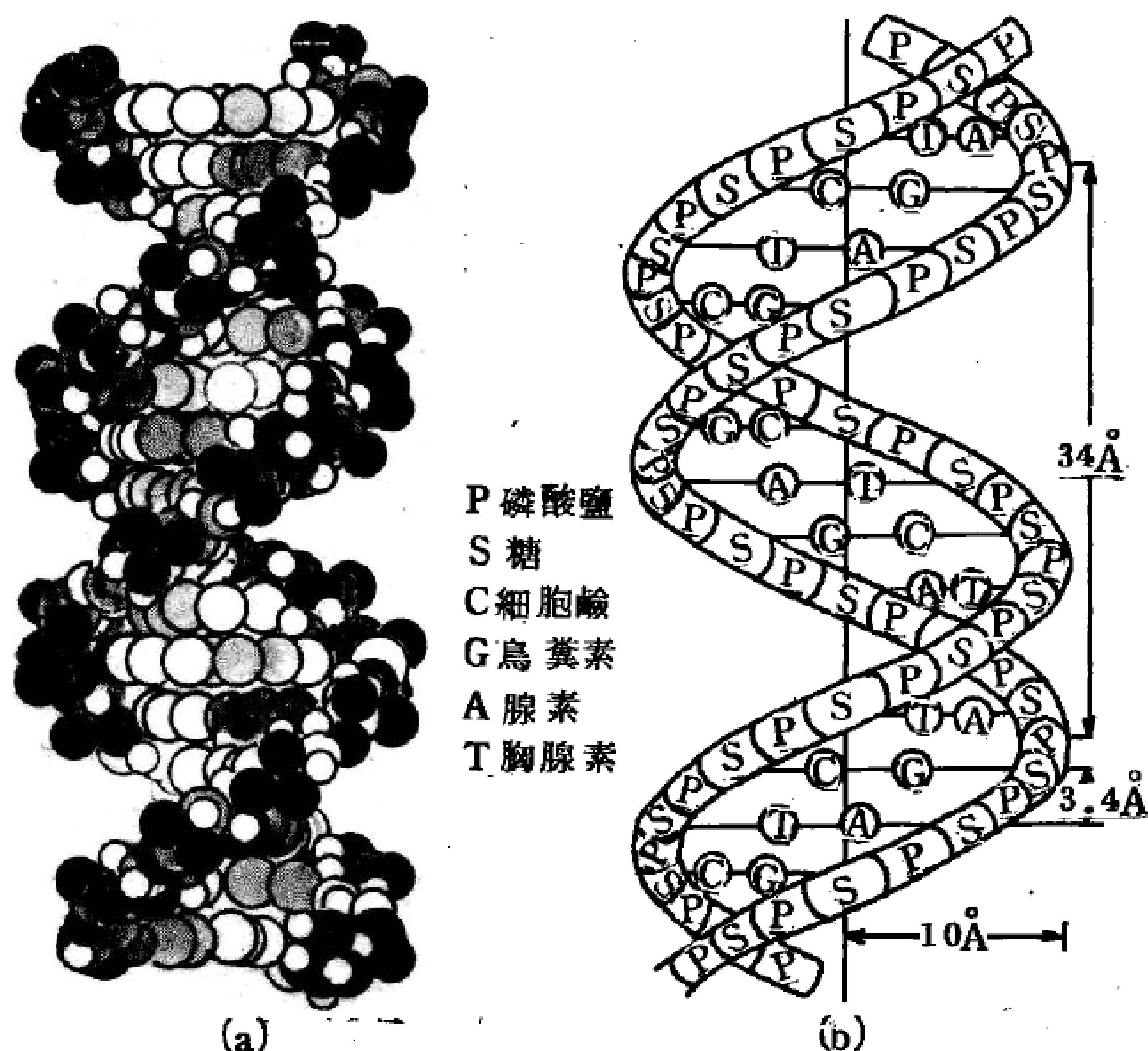


圖 4—57

克里克、華特生(Crick-Watson)去氧核醣核酸(DNA)的模型。染色體組織中含有兩核酸之一，DNA攜著遺傳資訊，爲研究過的巨大分子之一。X光繞射已指出，它由一系統列糖及磷酸鹽所組成的兩反向平行螺旋組成。螺旋中之醣，稱爲去氧核醣，含有五個碳原子。兩螺旋由偶對的氫鍵基群所連結，一對由稱爲腺紙素與胸腺素(A—T)二物質構成，另一對則由細胞鹼與鳥糞素(C—G)所組成。DNA分子的遺傳碼取決於每一基礎偶對的順序或排列，這些偶對像螺旋梯中的梯級一樣，每一梯級長約11Å(10^{-10} m)，每一螺旋節長約34Å，它之直徑約爲18Å。

第二個較複雜的分子是氫分子H_2，是由2個氫原子或2個質子及2個電子所組成(圖4—59)。當2個比氫原子更複雜的原子組合成一體時，原子中連繫較緊，即越內層的電子越不受影響，它們仍和原有的原子核相連，受到影響的僅是最外層的電子，亦稱爲價電子(*valence electrons*)，他們受彼此間相互斥力作用和受原子核及內層電子

所組成的離子的力作用而運動。這

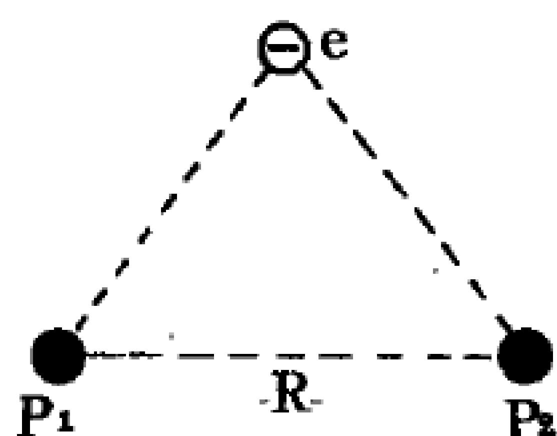


圖 4 — 58　氫分子離子

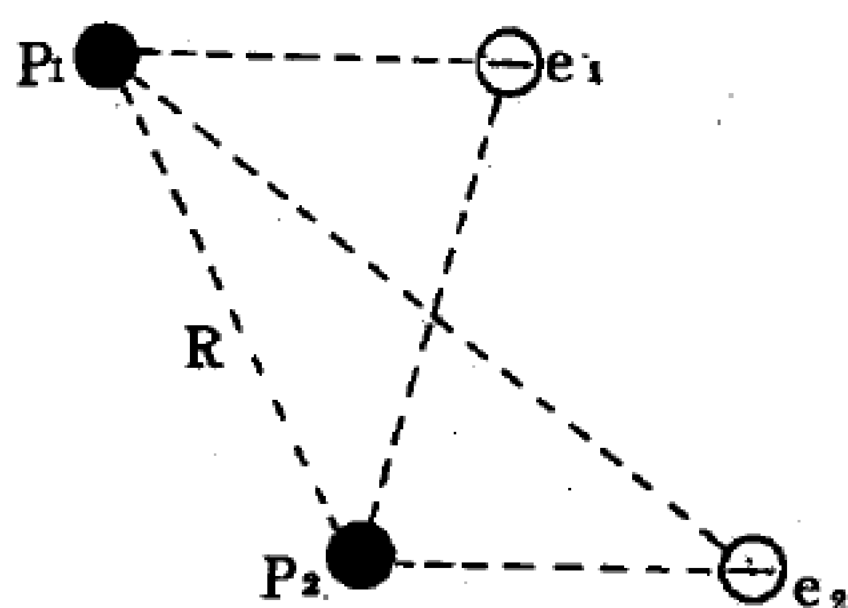


圖 4 — 59　氫分子

些價電子和分子的許多物理性質及其化學束縛作用有關。

分子中的原子（或原子核）是依一定的圖樣安排，而顯現各分子的特性，如圖 4 — 56 所示。例如，在二氧化碳（CO_2）分子中，三個原子核是在一條直線上，碳核居中；在水分子H_2O中，三個原子核是分據在一個三角形的頂點；氨分子NH_3，像一金字塔，氮核位於塔的頂端，氫原子位於塔的底部三個角頂；甲烷分子CH_4是個四面體，其中碳核在中間，氫原子在四角頂點。現代實驗技術（像X光線及電子束）對於分子的結構，都提供了非常有價值的資料。

普通分子直徑之平均值約為 2×10^{-8}厘米。分子之大小視物質之種類而異。如一克分子量之水（18 克）含有6.023×10^{23}個分子，而佔 18 立方厘米之體積。因此即使分子為密集狀態，其直徑亦不過 3×10^{-8} 厘米。分子間距離之平均值約為 7.6×10^{-6} 厘米（遠大於分子本身）。在標準狀況下之空氣，一公升中約含 2.7×10^{22} 個氣體分子。四億排為直線之分子約長 $2.5cm$（同數之人可排繞地球五週）。

【分子力】（Molecular force）

分子間在極短的距離內，有互相吸引的作用，叫做分子力。這種力使物質能夠以固態或液態的形式存在，使固體可以承受張力與壓力，並且是其他物理現象（如液體的表面張力及附著力等等）發生的原因。

分子力並不是一種基本力，它們是由組成一分子的電子及原子核與

另一分子的電子及原子核交互作用產生的，故爲電力的一種“大尺寸”的平均效應。通常分子間的力均爲短距離吸引力，屬於范得瓦式（*Van der Waals type*）。例如當兩分子互相接近時，各分子之電荷受干擾而稍微離開其正常位置，使兩分子之異性電荷間之平均距離比同性電荷之平均距離稍短，因此而生分子間之吸引力。當分子相當接近時，始發生此種內在之重新排列，故此力僅在短距離內作用，稱爲短程力。若分子非常接近，則其外邊之電荷－電子開始重疊，分子間之力成爲推斥力。因爲一個分子不能在內部重新排列，以阻止鄰近外電子之推斥，故分子互相排斥。有此推斥，氣體之分子碰撞才有撞球之特性。若無此推斥力，分子碰撞時將相互通過，而不致反彈。

分子間的力是由組成分子的原子，其價電子的運動所造成。由焦耳、湯木生效應（*Joule-Thomson effect*）以及氣體的黏滯性隨溫度而改變等的實驗，即可證實分子力的存在。因此，在討論到物態方程式及相平衡等問題時，分子間的力是一個重要的考慮因素。

由波司、愛因斯坦統計法（*Bose-Einstein statistics*），我們知道分子間的力可使分子與分子聚合在一起，並維持其平衡時分子間的最小距離。

分子力是一種極其複雜的力，我們不能單獨用古典物理圓滿地解釋它，但是用量子力學我們可大致了解它們。由實驗結果我們曉得兩個分子間的作用力與分子間的距離的關係約如圖 4 — 60 所示之情形。若分子爲非極性分子（*non-polar molecule*）（如 O_2、CH_4、CCl_4 等等），則當分子間的距離很大時其作用力大致是與距離的七次方成反比的吸引力，即 $F = -k/r^7$，k 爲常數，其值與分子的種類有關。若分子爲極性

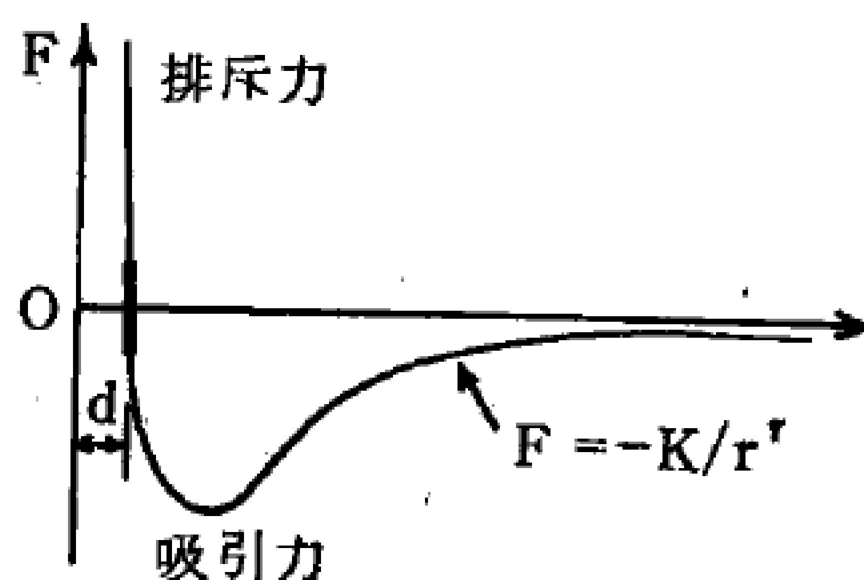


圖 4 — 60
兩分子間的作用力與分子間的距離之關係

分子（ *polar molecule* ）（如H_2O、NH_3、H_2S等等）則爲吸引力較大。當二分子太靠近時，它們即以極強的力量互相排斥，因此，固體及液體不容易被壓縮。當兩分子間的距離如圖 4 — 60 中的 d 時，其作用力爲零，故爲二分子穩定平衡的距離。在平衡位置附近一小區域內分子間的作用力 F 與距離 r 之關係曲線大致可被視爲一直線，即這時分子力與距離之關係約爲 $F = -kx$ ，x 爲兩分子離開平衡位置的距離，k 爲常數。這便是我們熟知的虎克定律（ *Hooke's law* ）。

比較測得之分子力與分子間之重力吸引力，亦甚屬有趣，例如若距離爲 4×10^{-10} 米，二氯原子間之作用力約爲 6×10^{-13} 牛頓，在此距離之重力約爲 7×10^{-42} 牛頓，比分子力小 10^{29} 倍！因此重力與分子力相形之下，重力可以忽略掉，雖然以平常之標準，分子力甚小，但須記得分子的質量非常小（約 10^{-26} 仟克），此等力足以產生 10^{15} 米/秒^2 之瞬時加速度。但因一分子能迅速離開另一分子的影響範圍，故此加速度只能持續一極短之時間。

【分子引力】（ Molecular attraction ）

分子互相吸引之力謂之分子引力。物體所以能保持一定狀態者，皆因其間有分子引力始能團結爲一塊。同種分子間之引力，謂之內聚力，異種分子間之引力，謂之附著力。

現在假定有一滴水，水中的質點彼此黏在一起。這水滴的體積不變，由於分子彼此之間的引力使它們不會分開。如果把這滴水放在一個斜面上，在這面上，它能自由運動，水滴會慢慢流動，但不會忽然跳動飛走。這是因爲有分子引力存在，另外跳動的運動可用熱（ *heat* ）來表示。例如煮水時，分子的跳動增加，原子間的距離也增加，如是直至分子間的引力不足以把它們拉在一起，它們就會彼此分開，而表面的分子就會逸出，這就是由水製造蒸汽的方法。

【分子之可幾速度】（ Probable molecular velocity ）

在一羣分子中，其任一單獨分子的速度很難度量，但卻可經由統計的方法算出可能的分佈，這些速度就是分子之可幾速度。

【分子之直徑】(Molecular diameter)

詳閱“分子(*Molecule*)”條。

【分子之受激】(Molecular excitation)

溫度升高，分子的動能增加，此即分子之受激。

【分子之振動能】(Vibrational energy of molecule)

如果把分子內各原子看成一個個小球體，則結合各原子的諸化學鍵可視爲連結這些小球的彈簧，所以分子並非堅硬不變，而是具有彈性的。因此分子內各原子會發生振動，而具有振動能。進一步來分析分子的振動究竟有多少振動自由度？假如分子內含有 n 個原子，它有幾個振動自由度呢？首先假想各化學鍵都非常弱，所以每一原子都可以自由運動。每一原子沿 x 、y 、z 方向有三個運動自由度，故總共有 $3n$ 個自由度。現在假定各化學鍵逐漸增強而成正常化學鍵，在各化學鍵增強的過程中，自由度的數目並不發生突然的改變，就整個分子來說，在空間作直線運動有三個直線運動的自由度，另外分子的轉動自由度爲3（非直線分子）或2（直線分子），所以除了直線運動和轉動以外，就爲分子的振動了，因此分子的振動自由度應爲

分子振動自由度＝總自由度－直線運動自由度－轉動自由度

$= 3n - 3 - 3 = 3n - 6$ 非直線分子

或 $= 3n - 3 - 2 = 3n - 5$ 直線分子

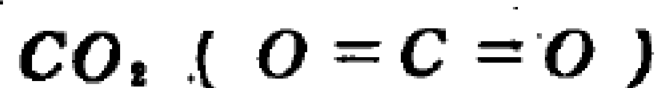
例如 CO_2 分子屬直線分子，其振動自由度爲

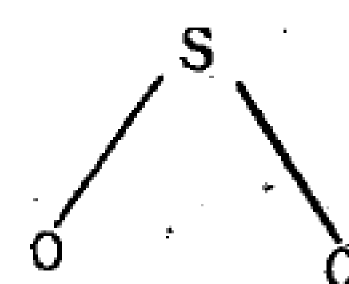
$$3 \times 3 - 5 = 4$$

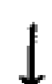
又 SO_2 分子屬非直線分子，其振動自由度爲

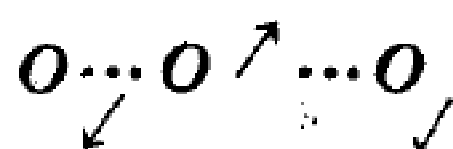
$$3 \times 3 - 6 = 3$$

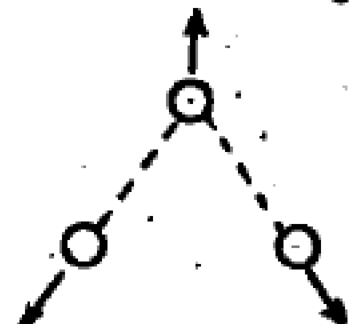
二者分子振動情形如圖 4 — 61 所示。











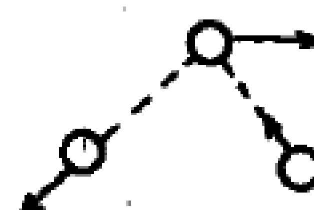


圖 4—61

【分子之動能】(Kinetic energy of molecule)

以氣體分子爲例，在空間沿 x 、y 、z 各方向，每一個分子在每一個方向的平均運動能爲 $1/2\ kT$ ，k 爲波茲曼常數 1.38×10^{-16} 爾格/度，T 爲絕對溫度，所以一個分子的總動能應爲 $3/2\ kT$。例如在室溫 25°C時分子沿 x 、y 、z 各方向的平均動能爲

$$1/2\ kT = 1/2\ (1.38\times10^{-16})(298) = 2.06\times10^{-14}\ \text{爾格}$$

而分子的平均總動能爲

$$3/2\ kT = 6.2\times10^{-14}\ \text{爾格}$$

當然上面的數值爲一平均值，實際常在某一定溫度，各個分子的運動速度並不各個相等，所以它們中有些分子的動能比平均值爲低或高。在化學上談論能量時常以摩爾爲基準，即 6.023×10^{23} 個分子的能量，所以一摩爾氣體的總動能爲

$$N\left(\frac{3}{2}kT\right) = \frac{3}{2}RT$$

式中 N 爲亞弗加厥數即 6.023×10^{23} ，R 爲氣體常數，k 爲波茲曼常

數（*Boltzmann constant*），其關係為$R = Nk$。

由此可知一個分子在空間可沿x、y、z三個方向自由運動，沿此三方向之運動能必須相加而得總動能，所以有自由度（*degree of freedom*）之觀念，用以描述分子的運動和其能量，每一運動自由度提供運動能量為$\frac{1}{2}kT$。

【分子之電子光譜】（Electronic spectrum of molecules）

依分子軌道理論，電子在分子中的運動情形，須以分子軌道的波函數表示，在分子的基態中，所有電子均依電子結構原理（*building-up principle*）填入能量最低的分子軌道中。若適當能量之光照射分子時，電子被激發而躍遷至未填滿但能量較高的分子軌道中。此種電子躍遷的光譜，大多發生於可見光及紫外光部分，賦予各種物質特異的鮮艷彩色。

分子的電子光譜，依其躍遷過程可分為吸收光譜、螢光光譜及磷光光譜等。吸收光譜為電子吸收光子能量躍遷至較高分子軌道而生者，螢光則為吸收躍遷的逆過程。吸收及螢光過程的初態和終態其多重性或電子總自旋相同〔通常$S=0$皆為獨態（*singlet*）〕，吸收係數大而螢光半衰期極短（小於10^{-8}秒）。一旦分子被激發至獨受激態（*singlet excited state*），分子常會損失小部分能量（變為熱能），改變其多重性而成為三重受激態（$S=1$），三重受激態在低溫時半衰期甚長，放出磷光再躍回基態。

【分子之電子能】（Electronic energy of molecule）

分子具有動能、轉動能、振動能。在說明這三種運動時，假想分子為一個機械的模型，而把分子結構中原子核和電子部分忽略掉。分子內電子能改變時，亦會影響分子使其原有的能量發生改變，所以分子具有另一種能量，即電子能量。分子的電子能量正如原子的電子能量一樣。例如一個分子吸收了一個量子（光子），使這個在低能階分子軌道上的

電子被激發至高能階分子軌道，分子的電子能量就增加了。同時一個在高能階分子軌道的電子，可以因放出一個量子而自己回到低能階軌道來，則分子能量就減少了。習慣上對電子並未賦予運動自由度，實際上一個分子有時變爲高能狀態或低能狀態的原因，是由於分子內一個電子得到或失去了能量所致。

【分子之碰撞】(**Molecular collision**)

理想氣體之分子於很短距離會彼此推斥，而於較大距離則彼此吸引，假設分子均爲剛體，不相互作用，其運行速率均相同，平均速率 $\bar{v}$，分子直徑 σ。

如果分子直徑爲 σ，當二分子之中心距爲 σ 時，此二分子彼此相接觸，因此一個運動的分子與他分子碰撞時，彼此中心距將爲 σ，所以此剛體球狀分子之碰撞横截面(*cross-section*)將爲 $\pi\sigma^2$，一以等速度 $\bar{v}$ 運動之分子將掠出 $\pi\sigma^2\bar{v}$ 厘米^3/秒，每秒碰到 $\pi\sigma^2\bar{v}n'$ 個分子，此 n' 是每立方厘米之分子數。

此例是假設一分子以速度 $\bar{v}$ 運動，而其餘分子皆是靜止者，平均相對速度爲實際平均速度之 $\sqrt{2}$ 倍，因此每分子每秒之碰撞數爲

$$Z=\sqrt{2}\,\pi\sigma^2\bar{v}n'$$

由於每立方厘米有 n' 分子數，則每立方厘米內每秒將有 $\sqrt{2}\pi\sigma^2\bar{v}(n')^2$ 個分子碰撞。此每單位體積在單位時間內之碰撞數爲

$$Z=\frac{\sqrt{2}}{2}\pi\sigma^2\bar{v}(n')^2$$

因爲碰撞之分子數是相同分子碰撞數之半。

【分子之轉動能】(**Rotational energy of molecule**)

一個自由運動的分子除了具有動能以外尙有轉動能量，例如橄欖球在空中飛行時，當然具有動能，但我們常常發現橄欖球同時亦繞著長軸或短軸轉動，如圖 4－62，因有轉動所以也具有轉動能。

在橄欖球的例子中，若以 x 爲其長軸，則短軸有二，爲沿 y 與 z 軸方向。一般而言，任何形狀的物體都能夠圍繞通過其重心的三個相互垂直軸而轉動，分子亦以相似情況而轉動，所以分子也就有三個轉動自由度。但在分子中有一特別情況，如果所有原子都在一直線上，則成直線分子（*linear molecule*）。對於直線分子如圖 4－63 所示，不考慮圍繞 x 軸的轉動，而僅考慮圍繞垂直線方向互相垂直之另兩個軸的轉動，所以直線分子僅有兩個轉動自由度。所有雙原子分子均爲直線分子，所以均只有兩個轉動自由度。

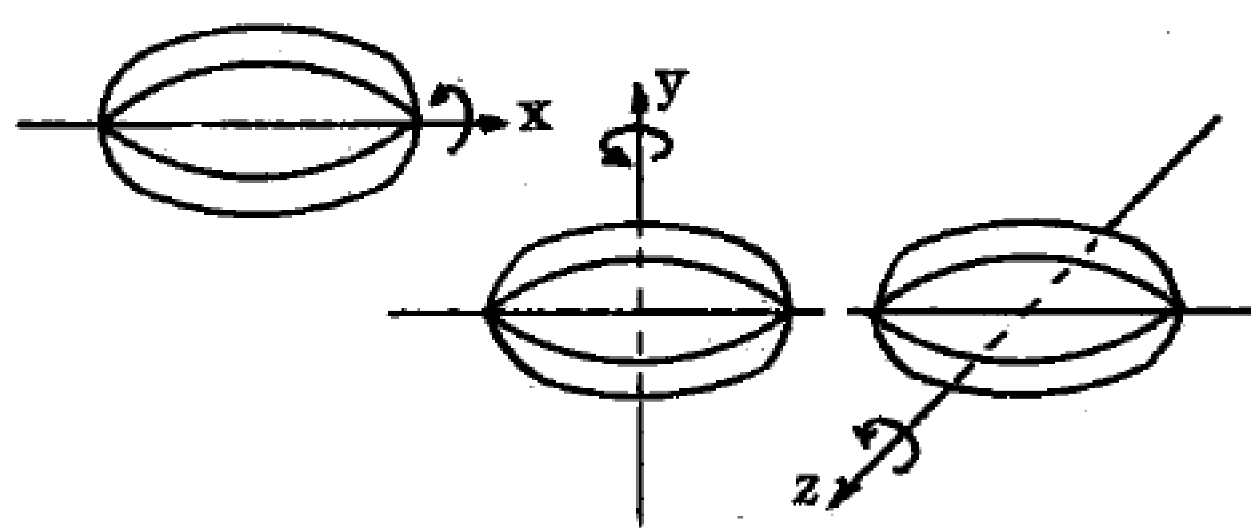


圖 4－62

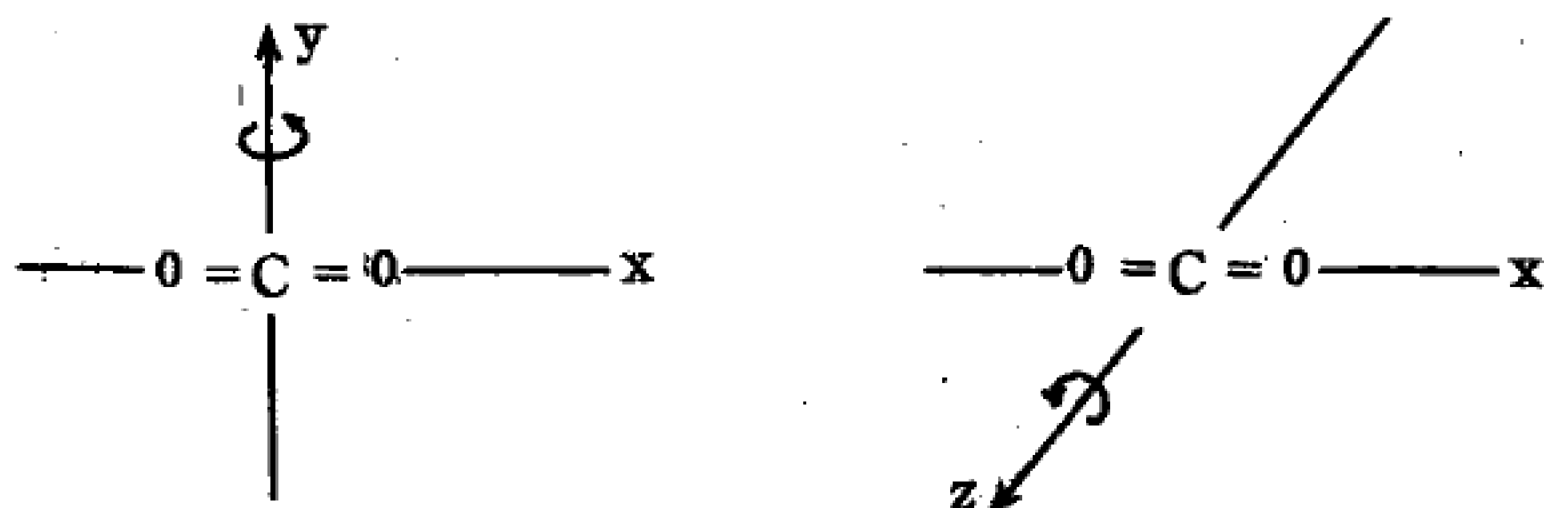


圖 4－63

【分子平均自由路徑】（Molecular mean free path）

平均自由路徑是一個分子在碰撞間所橫越之平均距離，一秒內一個分子平均橫越 $\overline{v}$ 公分，經 Z 次碰撞，因 $Z=\sqrt{2}\,\pi\sigma^2\overline{v}\,n'$，則其平均自由路徑爲

$$l=\frac{\overline{v}}{Z}=\frac{1}{\sqrt{2}\,\pi\sigma^2 n'}=\frac{kT}{\sqrt{2}\,\pi\sigma^2 P}$$

最後一項由理想氣體定律 $n'=\dfrac{P}{kT}$ 獲得，很明顯的於均勻密度中，平均自由路徑與溫度無關，而於等壓下，平均自由路徑則與絕對溫度成正比。

參閱“分子之碰撞（*Molecular collision*）”條。

【分子光譜】（**Molecular spectra**）

分子光譜與原子光譜最明顯的分別，通常是原子光譜多呈線狀分佈，而分子光譜多呈帶狀分佈。所以一般說來，分子光譜爲帶狀光譜。在分子的帶狀光譜中，譜帶的一端異常明顯而確定，我們稱此端爲光譜帶頭（*band head*）。由光譜帶頭開始，譜帶強度隨波長的變化而遞減；如光譜帶頭在長波（紅）處，譜帶強度隨波長變短而減弱，則稱此帶爲紫光遞降（*degraded towards the violet*）；如譜帶頭在短波（紫）方向，而譜帶強度隨波長增長而減弱，則稱此帶爲紅光遞降（*degraded towards the red*）。在高鑑別率的分光鏡下，所謂光譜“帶”，實際上是由爲數甚多而密集的光譜線組成。線與線間的間隔，雖然並不一致，但是卻相當規則地在譜帶頭附近出現“凹槽”，稱爲譜帶基線（*band origin*）。 在理論上，譜帶基線較光譜帶頭更有意義，但卻不易從光譜中讀出。由光譜中的譜帶，可以將它分成若干羣（*group*）或系（*system*）；從特定的羣（或系）內，又可再安排成若干序（*sequences*）。

一般言之，任何一種分子所發射的光譜，因不同類型的分子量子態（*molecular quantum states*）間的躍遷，而分成三種不同的光譜範圍（*spectral ranges*）。

1. 轉動光譜（*rotation spectra*），如圖 4－64 所示。轉動光譜生成的原因，假設分子是剛體結構，但其電子的分佈使此分子有電矩，根據古典理論，如果此分子有轉動運動，即有輻射產生，輻射波是正弦波，同時其頻率與轉動的頻率相同。轉動光

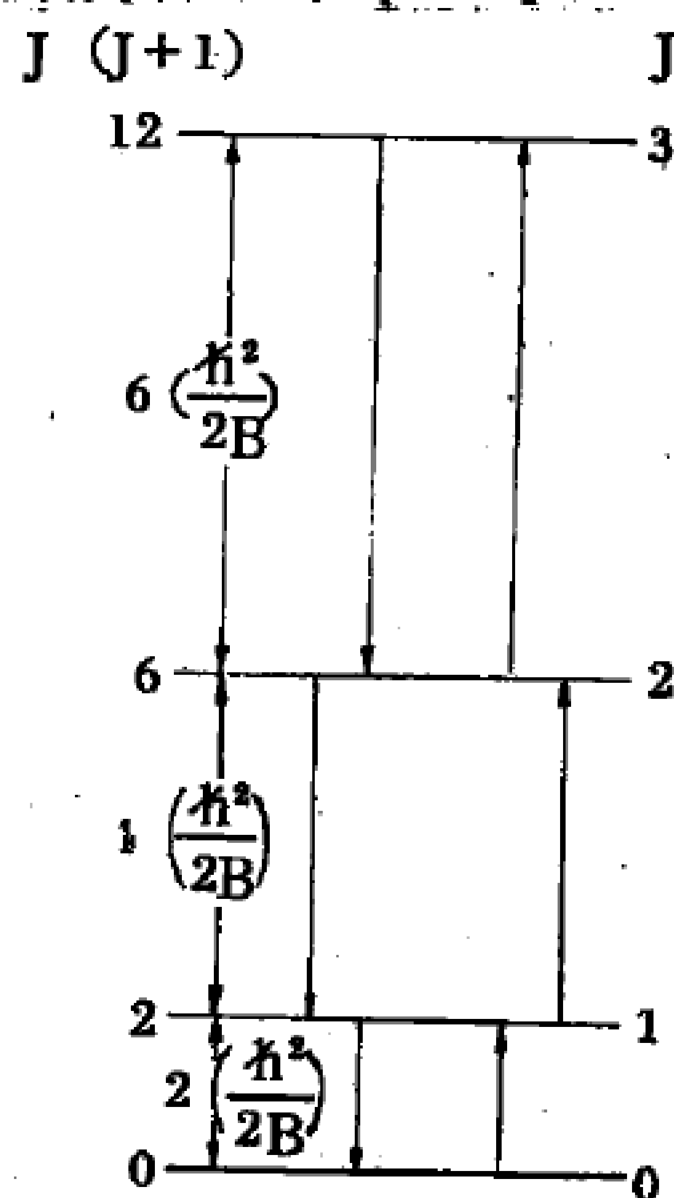


圖 4－64　轉動光譜能階圖

譜的譜線的在紅外線區，其光子能量在 10^{-5} 到 10^{-3} eV 間。

以雙原子分子爲例，兩原子組成的分子，其對稱軸爲兩原子的聯線，對此聯線中點的垂直軸轉動的轉動慣量爲 I，轉速爲 ω，其角動量爲 A，則

$$A = I\omega$$

而 $$E = 1/2\ I\omega^2$$

所以 $$E = A^2/2I$$

由量子力學的觀念可知：

$$A^2 = J(J+1)\hbar^2$$

$$E = J(J+1)\frac{\hbar^2}{2I} = \frac{J(J+1)h^2}{8\pi^2 I}$$

如果此分子有電矩存在，它將有雙極輻射。輻射的選擇定則爲

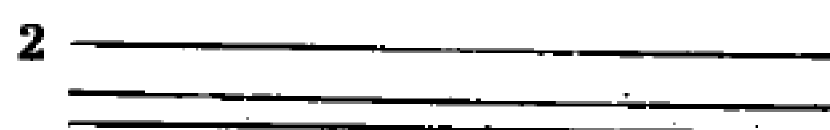
$$\triangle J = \pm 1$$

同時，當 $\triangle J = -1$ 時，表示發射能量；當 $\triangle J = +1$ 時，表示吸收能量。由 J 躍遷到 $J-1$ 時所發射的能量，其頻率爲：

$$\nu = \triangle E/h = 2BJ$$

$$B = h/8\pi^2 I$$

因爲 $J(J+1)-(J-1)(J-1+1) = 2J$，所以這種光譜是等距的光譜線。



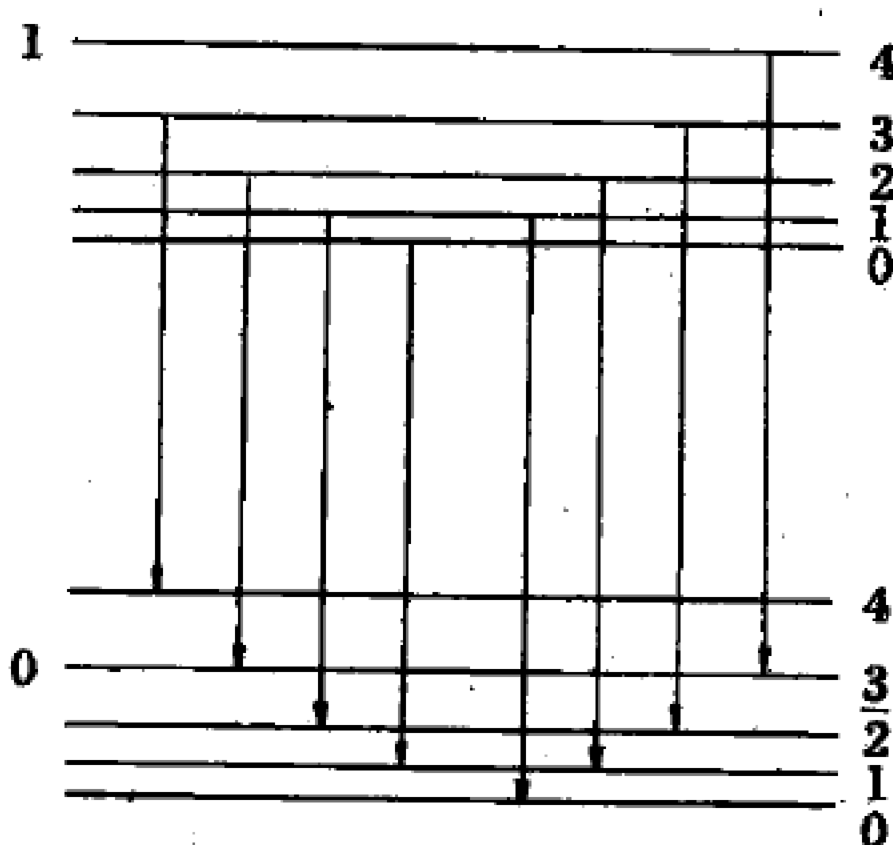


圖 4 — 65

雙原子分子的能階圖及振動、轉動光譜

2. 振動、轉動光譜（*vibration-rotation spectra*），如圖 4 — 65 所示。如分子不是剛體，但在線性力作用下，卻能對平衡位置作振動。同時，它的鍵含是電離性的，則根據古典理論，這種分子能因振動

的原子而生輻射；除非此分子在同一時間也有轉動運動，否則所生的輻射是純由振動所產生。假如分子同時也有轉動運動，則光譜線卽由一條分作兩條，這種情形與則曼效應很相似。

簡而言之，雙原子分子的振動、轉動能階可寫爲

$$E = E_v + J(J+1)Bh$$

$$B = h/8\pi^2 I$$

上式中E_v是分子的振動能階，通常又將振動看作是一種諧振，於是，

$$E_v = \left(v + \frac{1}{2}\right) h\nu_0$$

前式中的最後一項$J(J+1)Bh$則爲轉動能階，振動、轉動能階的選擇定則爲

$$\triangle J = \pm 1$$

$$\triangle J = 0$$

振動、轉動光譜的光子能量在0.2到$2eV$間。

3.電子光譜，根據古典理論，分子中電子自身的振動也能產生輻射；尤其是外層電子最可能造成光學區（*optical region*）的光譜。分子光譜中在可見光區及紫外光區出現的譜帶，多屬於此類。

【分子光譜學】（Molecular spectroscopy）

原子的光譜大部分爲線狀光譜，爲原子中電子在不同狀態間躍遷而生者。分子中除電子的運動外，原子核的運動使光譜更趨複雜。分子光譜之解析可先考慮分子能量的形式，分子的總能量通常可分爲電子能（E_e）、振動能（E_v）及轉動能（E_r）三部分

$$E = E_e + E_v + E_r$$

因轉動能通常小於10厘米$^{-1}$，分子的純轉動光譜出現在微波及遠梢紅外線光譜部分。E_v在100厘米$^{-1}$與4,000厘米$^{-1}$間，故純振動光譜屬紅外線光譜區域。E_e通常大於10,000厘米$^{-1}$，電子光譜出現於可見

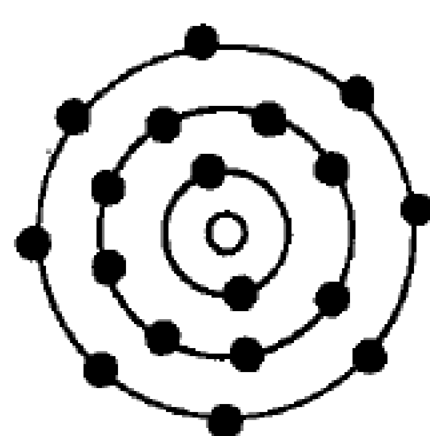
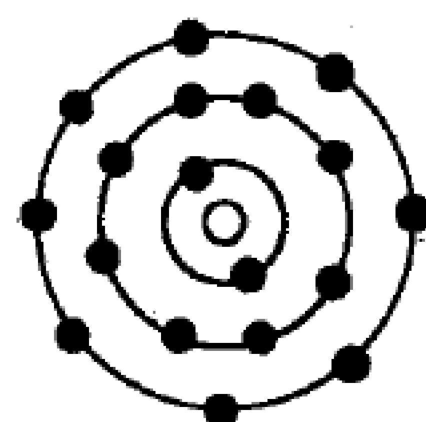
光及紫外光部分。

因分子作振動及電子的躍遷時，轉動狀態亦能隨之改變，故分子的光譜常爲許多密集之轉動譜線所組成，在用低鑑別率光譜儀觀測時，光譜均成帶狀，故稱爲帶狀光譜（*band spectrum*）。分子光譜爲分子的幾何形狀，價鍵強度及電子狀態等資料的最重要來源。

分子中電子的自旋及原子核的自旋和四極矩常可在微波及無線電波區域內產生共振作用，而導致電子自旋共振光譜（*electron spin resonance* 或*E.S.R.*光譜）、核磁共振光譜（*nuclear magnetic resonance* 或*NMR*光譜），及四極共振光譜（*quadrupole resonance spectrum*）。此等光譜亦可顯示分子中電子與原子核在空間分佈的情形。

【分子型晶體】（**Molecular crystal**）

當氬原子間距離甚大時，彼此作用甚小，而其電子軌道更互無影響，如圖4－66(*a*)所示；可是當它們互相接近時，原子內的電子將會稍稍改變其運行情形；例如當左方原子內的電子，接近於右方原子的最外一層軌道時，這些軌道中的電子，將會稍稍的移動，而挪出一些位置以容納這一新電子。由於此種相互的容納（*allowance*）現象，兩個原子才結合在一起。在圖4－66(*b*)中，自右方原子看來，左方的原子是略帶負電

(a)二相距甚遠的氬原子間沒有引力存在

(b)氬原子相接近時，原子中的電子軌道會略爲變更而產生一項引力

圖4－66

；反之，對於左方的原子而說，右方的原子略帶正電。由於此一輕度帶電，兩原子遂互相吸引。片刻之後，正負帶電的情形正適相反，但是這兩個原子依然相互吸引。我們稱此現象爲兩個原子的互相極化（*pola-rize*）。在原子尺度中，這種吸引現象，正與一帶電棒吸引不帶電的通草球的情形相同。帶正電的棒對於球上的負電荷具有吸力，而對球上的正電荷具有斥力，遂將球上的正負電荷分開。但因負電荷與棒距離較近，其合成效果爲吸引力，但在原子尺度中，這是彼此間的相互作用，兩個原子均被極化。我們須注意這種吸引現象與氧分子內原子的吸引現象有顯著的不同。當兩個氧原子相互接近時，最初它們的確是相互極化的，但是這極化現象逐漸增大，直到某些電子軌道同步（*synchronize*），終致這些電子在兩個原子間來回的往返運行。在圖 4 — 66 的氬原子中，則無此類同步現象，其原子的極化只產生極微弱的吸引力。如將兩個以上的氬原子放在一起，它們會逐漸形成一個晶體，但這個固體極不穩定，只能在極低溫（ − 189°C ）的情況下， 當分子的振動甚弱，不至於超越其間微弱的吸引力時，方能形成。

甚多化合物和元素均形成這類分子型晶體。在氦元素內，原子間吸引力極爲微弱，除非是在適當的壓力和極低的溫度下（絕對溫度四度以下）方能形成晶體。大多數的有機晶體（*organic crystal*）均由有機分子間的這種微弱極化力相互吸引而形成。如苯（*benzene*）、蒽（*anthracene*）以及其他多種分子，均形成此類分子型晶體。其基本問題是：分子內電子被束縛的情況如何？如果它們是像在稀有氣體原子內那樣排成完整緊密的殼層，不會與其他原子或分子交換，其晶體結構遂由微弱的極化力所形成。對於某些分子而言，其完整殼層的條件，不像在氬原子中的八個電子那麼簡單。在氮原子中，五個電子即能形成一個非常穩定的軌道，而不被其他氮分子所干擾。與此類似，氧分子中原子內的六個電子即可形成一穩定的軌道。但無論是氧、氮、氬或苯晶體，

都是由於這種極化力方能連結在一起。

【分子軌道】(Molecular orbits)

通常在原子物理學或分子物理學中，所謂軌道是指一個電子的軌道波函數，即是在原子或分子中，任一電子在運動時的薛丁格方程式的特性解(*characteristic solution*)。原子的電子軌道波函數稱爲原子軌道(簡稱 *A.O.*)，分子的電子軌道波函數稱爲分子軌道(簡稱*M.O.*)。

因爲分子是由原子所組成，因此最簡單的分子軌道即是原子軌道。原子軌道的特性可由兩個量子數 n_r (徑量子數)及 l (或 k， 角量子數)所決定；換句話說，單原子分子的分子軌道亦即原子軌道。

雙原子或多原子分子的分子軌道較爲複雜，但可由價鍵理論及原子軌道的描述方式予以描述。

【分子軌道理論】(L.C.A.O.-M.O. theory)

複雜分子中電子運動情形以分子軌道表示，分子軌道不易由其波動方程式直接解出，故通常均以適當的原子軌道線性結合作其近似，即

$$\psi = \sum_{i=1}^{n} C_i \varphi_i$$

ψ 是分子軌道函數的波函數，φ_i 爲 n 個原子軌道函數，C_i 爲待定常數。將 ψ 代入變分法能量公式，則其能量爲

$$E = \frac{\int (\sum C_j\psi_j) H (\sum C_j\psi_j) \, d\tau}{\int (\sum C_j\psi_j)^2 \, d\tau}$$

H 爲分子系統的漢彌頓算符，其定義爲

$$H_{jk} = \int \psi_j H \psi_k d\tau$$

$$S_{jk} = \int \psi_j \psi_k \, d\tau$$

且 $S_{jk} = S^*_{kj}$ 和 $H_{jk} = H^*_{kj}$

所以
$$E = \frac{\sum_j \sum_k C_j C_k H_{jk}}{\sum_j \sum_k C_j C_k S_{jk}}$$

C_i 之值須使 E 有極小值，令 $\partial E/\partial C_i=0$，即得 n 個聯立方程式，即

$$\sum_j C_j\,(H_{ji}-ES_{ji})=0$$

這 n 個聯立方程式如有解，則其行列式之值爲零，即

$$\begin{vmatrix} H_{11}-S_{11}E & H_{21}-S_{21}E & \cdots \\ H_{12}-S_{12}E & H_{22}-S_{22}E & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots \end{vmatrix}=0$$

解出 n 個 E 值即爲 n 個分子軌道的能量，以此 E 值分別代入前式即可解出 n 組 C_i 值，而得 n 個分子軌道。

以上公式中 H_{ii} 稱爲庫倫積分（*Coulomb integral*），表示 ϕ_i 原子軌道的能量；H_{ij}（$i \neq j$）稱爲共振積分（*resonance integral*），表示兩不同的原子軌道 ϕ_i 與 ϕ_j 之間的作用能；S_{ij} 稱爲重疊積分（*overlap integral*），表示兩原子軌道間重疊程度。因準確的原子軌道函數不易求得，即使有準確的原子軌道函數，各積分值亦甚難計算，故一般分子軌道理論中，此等積分均不由計算而得，而由半經驗方式估計之。

【分子能】（Molecular energy）

壓力不高時，氣體分子本身與氣體所佔的體積比較起來，分子本身的體積小之又小。如果把分子看成一個小球，它們在空間不停作高速直線運動（*translation motion*），並且互相碰撞，因此分子具有動能（*kinetic energy*）。分子大部分是兩個或兩個以上原子構成。而結合原子的化學鍵又富有彈性，因此分子內各原子間會有相互運動，即振動（*vibration*），而有振動能。另外分子繞一固定軸而發生轉動（*rotation*），因此具有轉動能。最後分子內的電子有一定的排列，具有一定的電子能（*electronic energy*）。

【分子振動】（Molecular vibrations）

解釋分子的振動光譜時，一般可假設分子中各核之間以假想之彈簧

相連接而共同振動，振動的頻率即可由核之質量及彈簧之力常數計算而得。

在計算分子的正規振動及其頻率時，通常利用拉格朗（*Lagrange*）力學，其廣義坐標取爲分子的內坐標。主要內坐標有兩種，即鍵之伸長坐標及相同原子上兩鍵夾角改變之鍵彎曲坐標。應用內坐標的優點即是每一內坐標可假設一定之力常數，因而得以計算其振動頻率。

一般而言，分子的振動決定於其化學鍵的結構，相同的化學鍵在不同分子中往往有相近之振動頻率。例如在碳氫化合物中，$C-H$鍵之伸長振動頻率在3,000厘米$^{-1}$左右，$C-H$鍵之彎曲振動則在1,400厘米$^{-1}$附近。由此等振動往往可推測未知分子的結構。

【分子速率】（Speed of a molecule）

在通常所考慮的氣體系統，其內部所含有的分子數目極多，每克分子就有6.023×10^{23}個分子。這些分子在系統內向四面八方任意運動，實際上無法知道每個分子眞正運動的快慢情形，只能根據統計力學，求出其速率的分佈，再由此而求得分子的最可能速率、平均速率或均方根速率，如圖 4－67 所示。

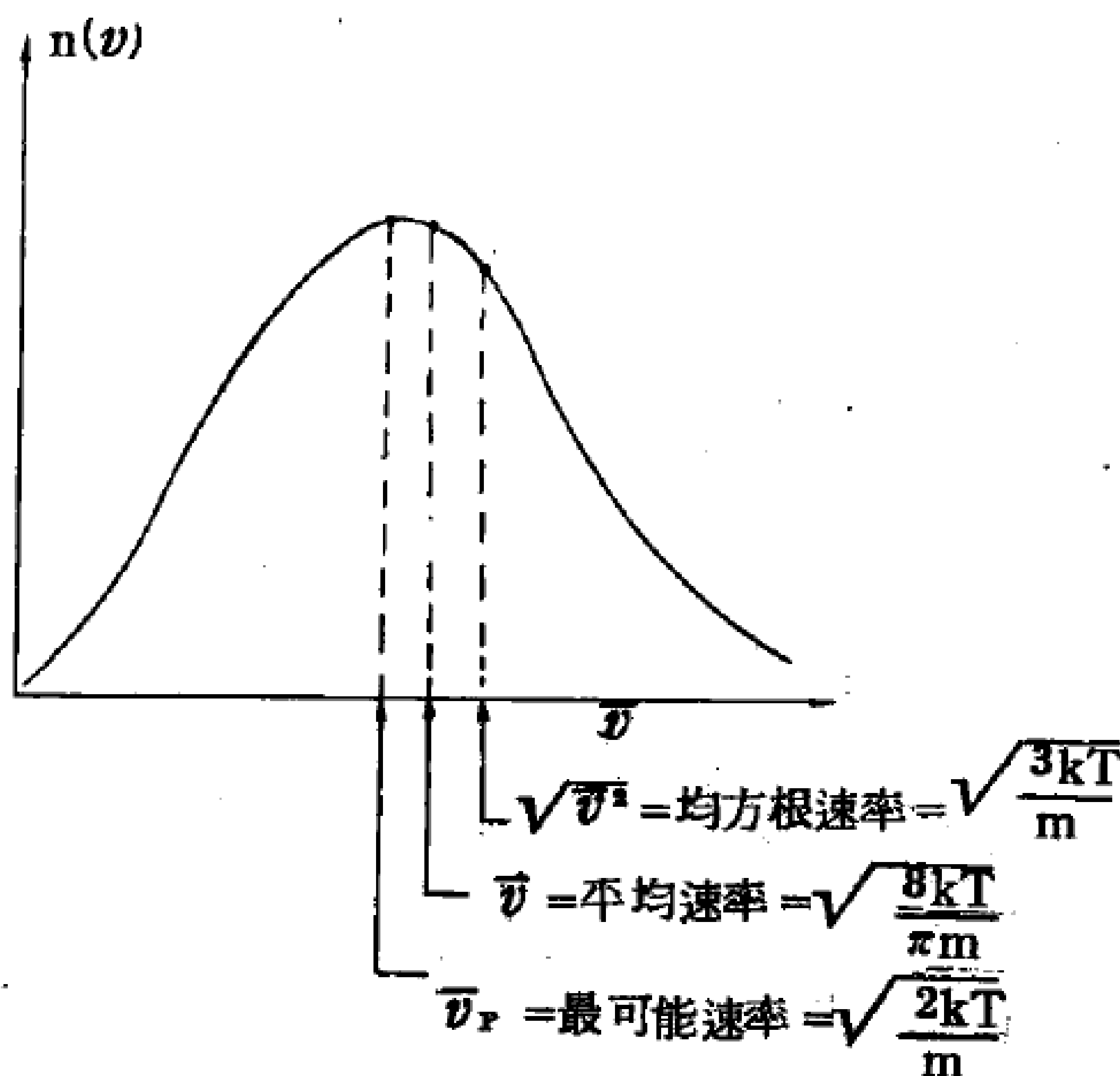


圖 4－67　馬克士威、波茲曼速度分配

1. 分子速率的分佈——根據馬克士威分佈可求得分子速率分佈式，即單位體積內分子速率介於 v 與 $v+dv$ 間的分子數爲

$$F(v)\,dv=4\pi n\left(\frac{\beta m}{2\pi}\right)exp\left(-\frac{1}{2}\beta mv^2\right)v^2dv$$

式中 n 爲單位體積內的分子數，$\beta \equiv 1/kT$ ，k 爲波玆曼常數，T 爲絕對溫度，m 爲分子的質量。

2. 分子的最可能速率——$F(v)$ 值爲極大時的分子速率，即爲最可能速率，其值爲

$$v_m = \left(\frac{2kT}{m}\right)^{1/2}$$

可由 $\frac{dF(v)}{dv} = 0$ 求得

3. 分子的平均速率——平均速率 $\overline{v}$ 定義爲

$$\overline{v} = \frac{1}{n}\int_0^\infty vF(v)\,dv$$

經積分得

$$\overline{v} = (8kT/\pi m)^{1/2} = \frac{1}{\sqrt{\pi}}v_m$$

$$\simeq 1.13 v_m$$

4. 分子的均方根速率——均方根速率定義爲

$$v_{rms} = (v^2)^{1/2}$$

式中 $v^2 = \frac{1}{n}\int_0^\infty v^2F(v)\,dv$

此積分爲高斯積分，積分得

$$v_{rms} = (3kT/m)^{1/2} = \left(\frac{3}{2}\right)^{1/2} v_m$$

$$\simeq 1.22 v_m$$

由上述結論可知分子的速率與絕對溫度的平方根成正比，與分子質量的平方根成反比。

【分子場】(Molecular field)

將順磁性物質置於磁場中，此物質中原子的磁矩就有與磁場同向排列

的趨勢，因此物質的總磁矩不爲零。將磁場除去，磁矩亦隨之消失。但對鐵磁性物質而言，即使在磁場爲零的情況下，只要溫度低於居里溫度，磁矩就不爲零，而且溫度降低時磁矩趨於飽和。爲了解釋這種現象，外司（*Weiss*）假設鐵磁性物質的原子間有一種相當於磁場$H_1 = \lambda M$（M是物質的磁化強度，λ是大於零的常數）的交換交互作用場存在，這種場就叫做外司場，或分子場，也叫交換場。如以H表外加磁場，M表磁化強度，$\overline{\chi}$表磁化率，則該物質的磁化強度可寫成

$$M = \overline{\chi}\,(H + H_1)$$

與居里定律聯合（即$\overline{\chi} = C/T$，式中C爲常數，T爲絕對溫度），可得居里、外司定律，即

$$\overline{\chi} = \frac{M}{H} = \frac{C}{T - T_c} \qquad (T_c = C\lambda)$$

當溫度等於或低於T_c時，如$\overline{\chi}$爲無限大，則H爲零時可得一有限數值之M，即爲飽和磁化強度。

【分子結合】（Molecular association）

泛指分子間由於某些微弱之吸引力相聚合成集團的現象，此等聚合爲可逆現象。產生分子結合的吸引力方式甚多，例如水分子間聚合之氫鍵；水分子與其他離子分子之結合或水化（*hydration*）；溶劑分子與溶質分子之結合；錯離子或爪形錯離子之生成，如銅離子與氨生成銅氨離子$Cu(NH_3)_4^{++}$等等。

【分子晶體】（Molecular crystal）

這種晶體係以分子或飽和原子爲單元，藉范得瓦作用力彼此聯繫的固體。在分子晶體中，電子作區域性分佈，並不像在金屬中可以自由活動，因此晶體分解時以分子或原子的狀態出現。范得瓦力爲短程作用力，概略言之，它包含三種弱作用：(1)各單個分子間的靜電作用，(2)對每一分子有由其他分子引起的極化作用，(3)不同分子間的雙極矩耦合作用

。因此在這類晶體中，分子間結合能量很小，晶體的熔點與沸點都很低，在常溫時會變成穩定的多原子分子的氣體或液體。通常雙原子和三原子氣體、液體以及大部分有機物質均屬此類，例如惰性氣體和苯。嚴格而論，這類晶體的性質多由其分子內部的結構而定，並非分子間的固態結合所致。

【分子運動】(Molecular motion)

分子運動現象首由植物學家布朗(*Robert Brown*)於 1827 年觀察到，氣體分子的運動是不規則的，亦稱"布朗運動"，如圖 4－68 所示。

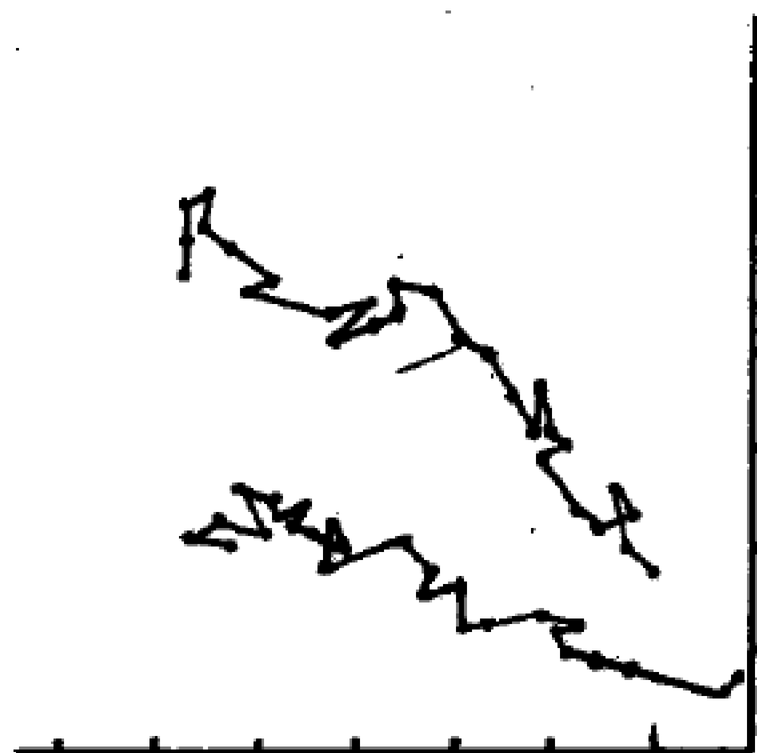


圖 4－68　布朗運動

【分子說】(Molecular theory)

原子集合而成分子，分子集合而成物質。凡用分子的觀念，說明物質的性質和狀態的理論，稱爲分子說。

【分子蒸餾法】(Molecular distillation)

區分同位素的一種方法。把欲分的同位素放在一塊加熱，則質量輕者先被蒸發，重者慢些，故可區分出同位素。

【分子數】(Molecular number)

一克分子量之水(18克)含有6.023×10^{23}個分子，而佔 18 cm^3 之體積，此即一克分子量之分子數。

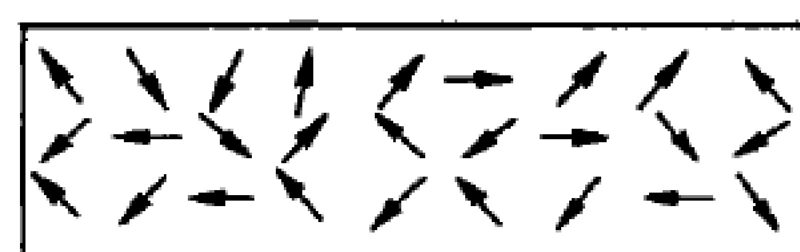
【分子模型】(Molecular model)

詳閱"分子(*Molecule*)"條。

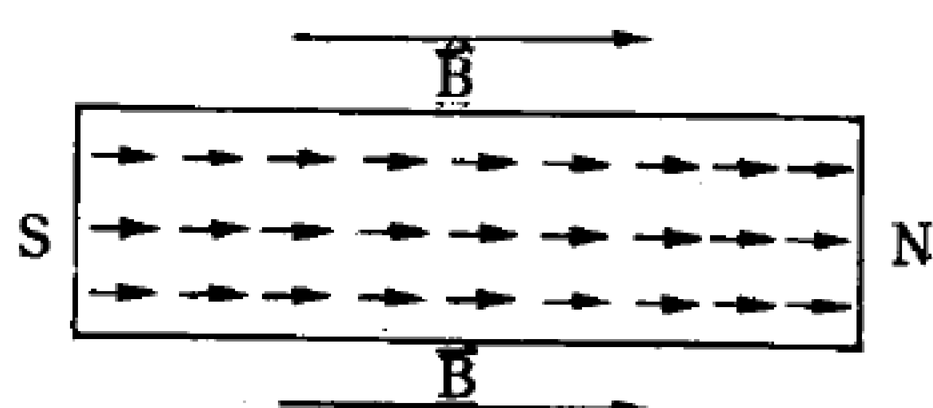
【分子磁體】(Molecular magnets)

磁針分爲二，可得兩根完整的磁鐵，各具南北二極；若將這些斷針繼續折斷下去，則所得各分段恆有南北兩極，所以磁北極與磁南極是永遠無法使之分開的，基於這一經驗，學者遂創立了一項分子磁的假說。即假想每一未經磁化的鐵塊，本來就已含有許多小分子磁體(圖 4－69

(a))，其所以不顯磁性者，乃由於這些分子磁的排列完全是不規則的，所以各分子磁的效應才會互相抵銷而不表現出來。若將此鐵塊置於磁場之中，則各單獨分子磁便會多多少少由於外在磁場的作用而整列起來，而使該鐵塊或多或少取得了磁性。但外在磁場一旦消失後，各分子磁便又會由於分子的熱振動而恢復其不規則狀態。普通若有一部分的分子磁能保持其整齊的狀態，則該鐵塊尚可保持一些磁性；我們稱之爲具有頑磁性(*remanent magnetism*)。



(a)未經磁化的鐵塊



(b)外在磁場 $\vec{B}$ 之作用，使分子磁鐵整列起來

圖 4－69

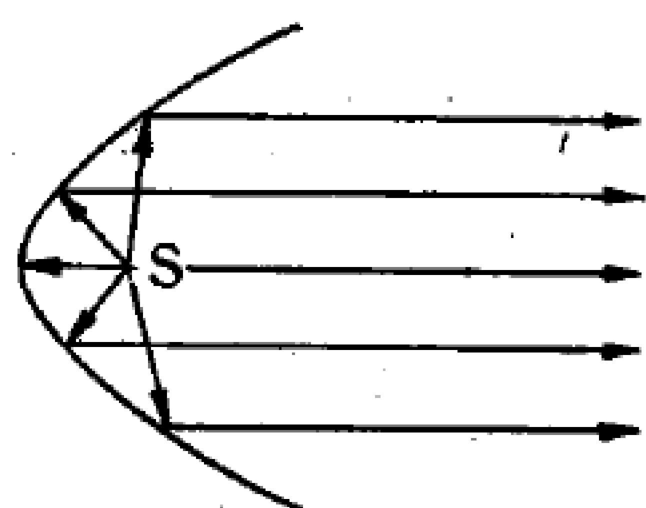
【分米波】(Decimeter waves)

波長從 10 厘米到 1 米(即頻率從300兆赫到3,000兆赫)的電磁波。在傳播規律方面，分米波和超短波的區別是很小的。不過與超短波比較起來，分米波有下述優點：天線結構的尺寸較小，有可能製造方向性更強的定向天線，並且能夠發射比較寬的頻帶。這些優點在雷達中，有著很重要的意義，分米波主要也就是應用在這方面。

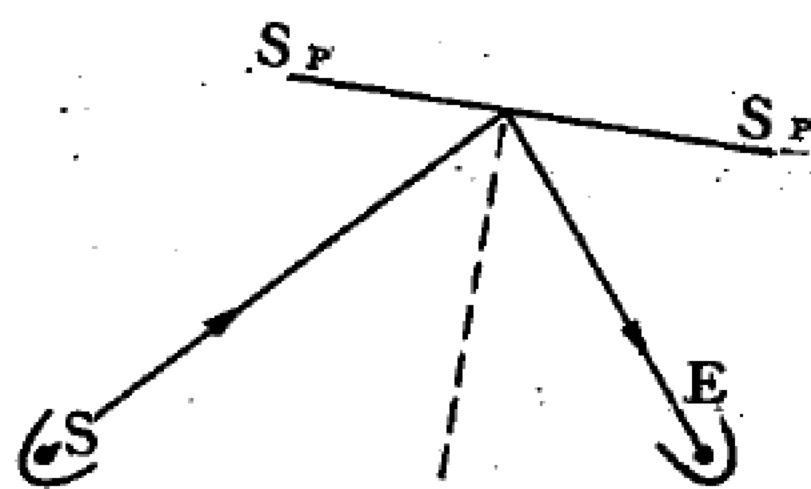
對於分米波的研究係利用一偶極子作爲"發報機"，並設其長度的一半爲1分米。偶極子的中央爲一電花隙，電花係由於接入的電花感應器所發生。又用一大小相等的偶極子作爲"收報機"。因外來的電磁波而激發的高頻交流，則以一個接於中央位置的熱電十字將之變爲直流，後者可以一串聯在電路中的電流計顯示之。爲著提高作用的效果起見，可將發報機與收報機置於一拋物面鏡的焦點上。如此我們就可作如下的觀察了：

1.置於發報機對面的一塊金屬鏡，會按著光學中著名的反射定律

，將電磁波反射回來（圖 4 — 70 (*a*)(*b*)）。



(a)電波在一拋物面鏡上反射的情形



S發報機；E收報機

(b)電波在金屬鏡上反射的情形

圖 4 — 70

2. 如在射線的路程中間放上一個稜鏡，則電射線便會發生折射現象（圖 4 — 71 ）。

3. 利用一充分寬的裂縫，可使一部分射線繞射（圖 4 — 72 ）。

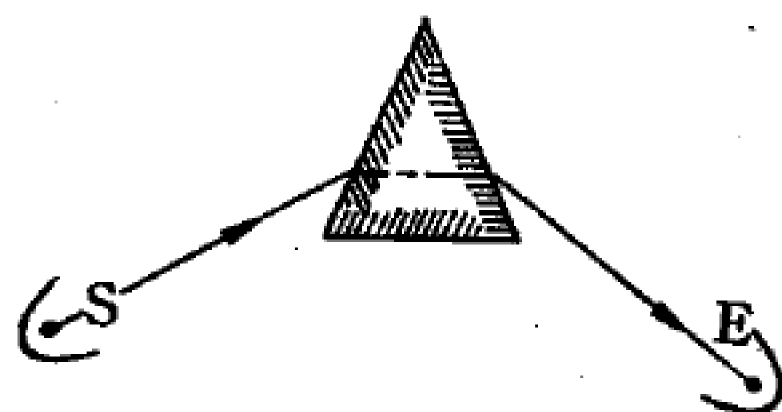


圖 4 — 71　電波之折射

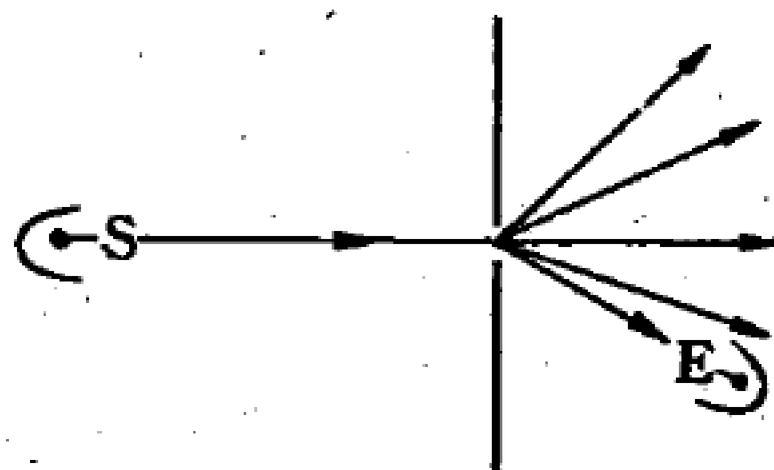
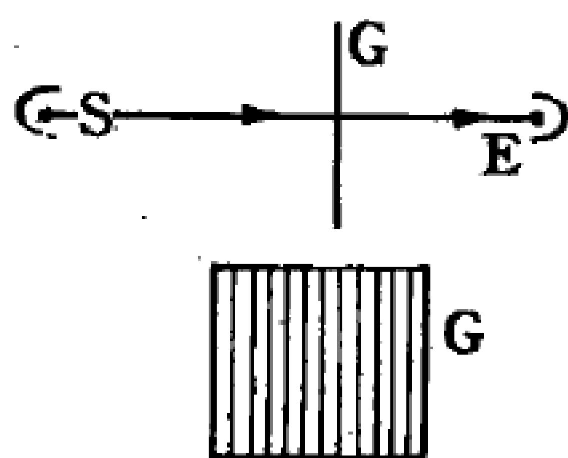
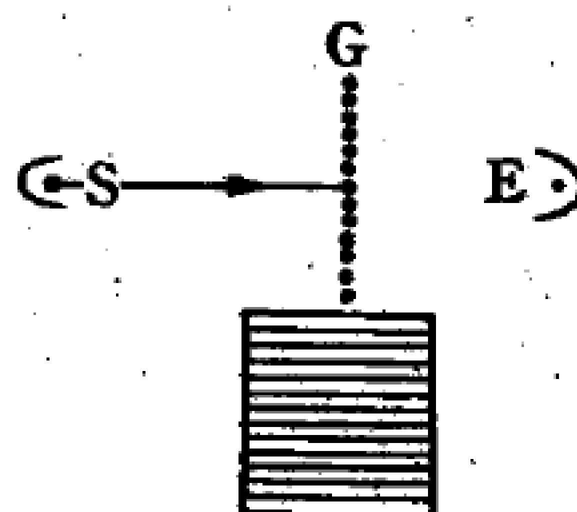


圖 4 — 72　電波之繞射



G：線柵；其金屬線與振動方向（偶極子軸）垂直，電波通過時幾無減弱的情形發生。

(a)電波的偏振；振動方向與圖面垂直



G：線柵；其金屬線與振動方向平行，電波不能通過該線柵。

(b) 電波的偏振

圖 4 — 73

4.如將一置於射線路程中的線柵（其中各金屬線係互相平行而張緊者）調整得恰使各金屬線與偶極子之軸互相平行，則電流計的指針不會顯示任何偏轉。由此可見並無射線通過該線柵。反之，若使該線柵的格子線與偶極子的軸互相垂直（如圖4－73），則射線便可通行該柵而無阻。於是我們可以得到從光線中所能觀察到的種種特性。由此，赫茲（*Hertz*）得以準確無誤的作如下的結論：即光也是一種電磁波，只不過它的波長（或頻率）和實驗上所發生的電波之波長有所不同而已。

【分光計】（Spectrometer）

光學測角器之一種，主要目的爲使用於角度的高精密度測定。分爲：(1)稜鏡頂角測定，(2)由稜鏡折射的光線偏角的測定，(3)做成稜角形狀，物質折射率之測定，(4)使用光柵，做光線波長之測定，此外也用於光譜之觀察與分析之用。

【分光照像機】（Prismatic camera）

物鏡前端裝有稜鏡之天文攝影機稱爲分光照相機。

【分光鏡】（Spectroscope）

可產生並觀察光譜的儀器，故又稱分光儀。分光鏡的型式很多，各型式間除了操作原理的差異外，還有被探測的輻射線不同，輻射頻率區間

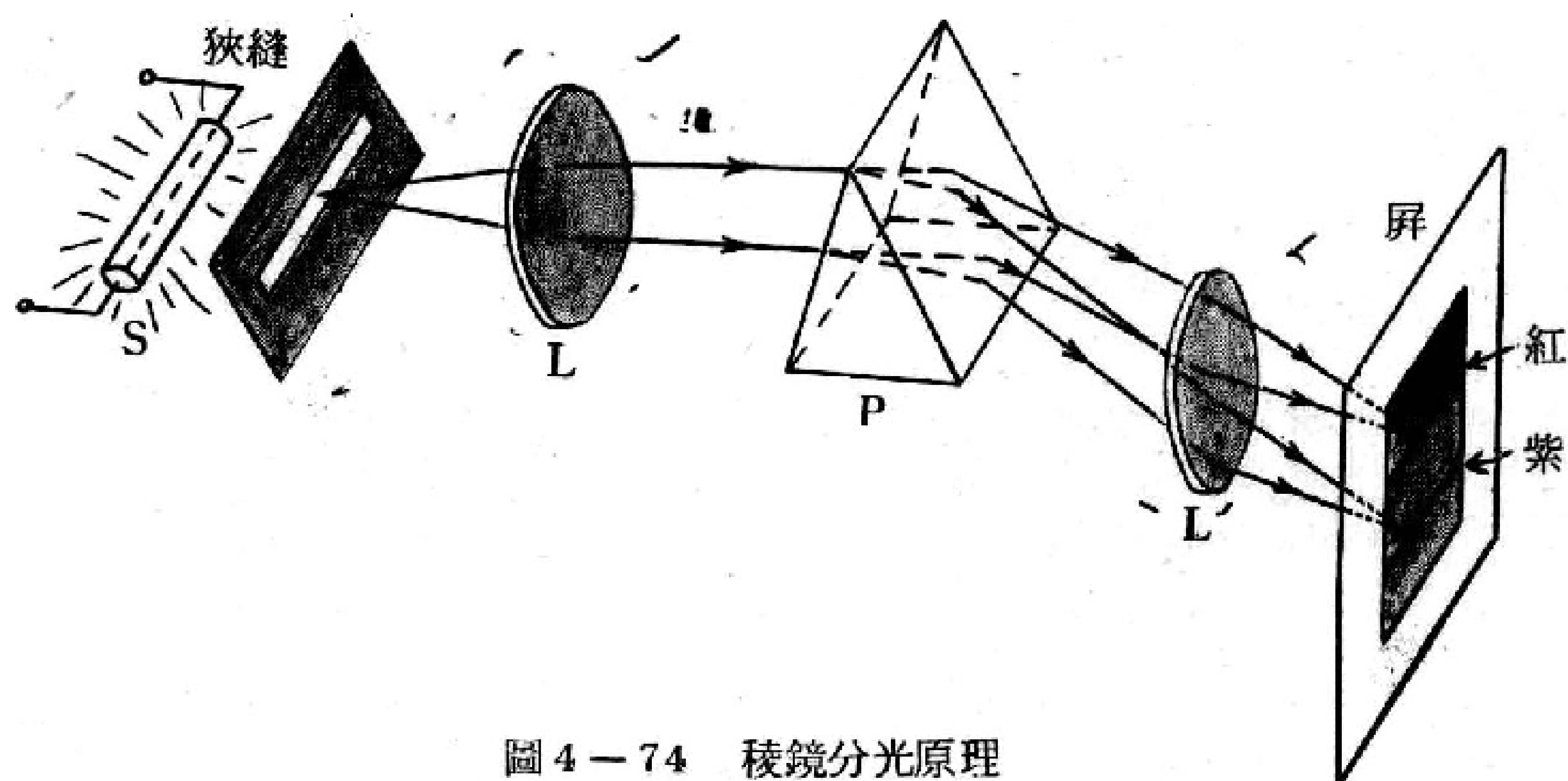


圖4－74　稜鏡分光原理

由紅外光到X射線。

分光鏡是牛頓發現稜鏡對光的色散性質後，夫牢因和斐（*Fraunhofer*）所發明的。一簡單的分光鏡如圖4—74 所示，從光源S射出而由一狹縫所限制之光，經準直透鏡L轉變成平行光線，經稜鏡P色散，此種稜鏡有時不只一個，不同色光之射線通過另一透鏡L，其目的是將色散光譜會聚成像，以供觀察和攝影，因同色（或同波長）的所有射線平行，它們焦聚於幕上同一點。但不同色（或不同波長）者不平行；因此不同色者焦聚於幕上不同之點。由光源S射出不同之色光或不同之波長展示於幕上，此展示於幕上者就是所謂來自S的光譜（*spectrum*）。若偏向角δ依波長λ急速而變，各色光在幕上展示一廣大區域，對於每一波長，必有一線出現於幕上，此線爲狹縫之像。

備有量度偏向角刻度環的分光鏡稱爲分光計。直視分光鏡（或非偏向分光鏡）的稜鏡是一種可以直視而不需望遠鏡輔助的阿米其（*Amici*）稜鏡（圖4—75），此種稜鏡

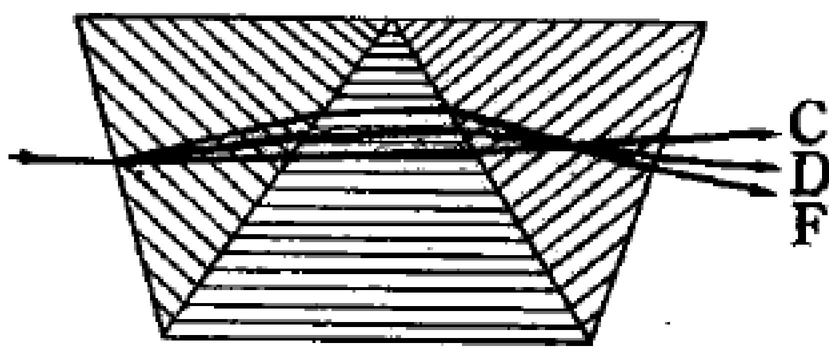


圖4—75 直視分光鏡

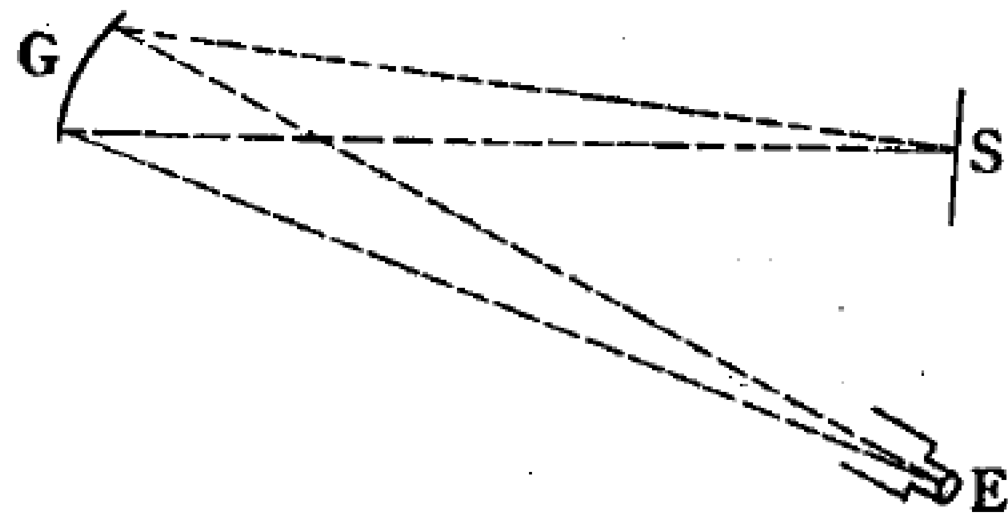


圖4—76 凹光柵分光鏡

中央是火石玻璃稜鏡，外圍兩個是冕玻璃稜鏡，有攝影裝置的分光鏡稱爲攝譜儀，爲一般研究用分光鏡。

現在許多新式分光鏡都以繞射光柵代替稜鏡，圖4—76 的若蘭（*Rowland*）光柵分光鏡因光柵本身有聚焦作用，所以原有的準直透鏡、望遠鏡或照像物鏡都可省去。

【分光變阻測熱計】（Spectrobolometer）

分光變阻測熱計係由電阻輻射熱測定計（*bolometer*）和分光鏡聯

合組成。可以量度波長範圍極小之波帶，這段窄波帶可自光譜上任意截取。此儀器亦可測定恆星光之波長及強度之關係。

【分貝】(Decibel)

對數標度單位，等於貝的十分之一，以簡寫 db 表之。最初係用來測量能量在轉換或輸送過程中的增強、減弱，現在也用這一單位來測量電壓和電流的增強或衰減，及表示聲音之強弱。在電學中根據所選用的基本單位貝，可以將功率的放大或衰減以分貝爲單位表示如下：

$$N = 10\, log \frac{P_2}{P_1} \qquad (1)$$

式中 P_1 爲放大（或衰減）以前的功率，P_2 爲放大（或衰減）以後的功率，log 是常用對數（在放大時，P_2 大於 P_1，N 爲正值；在衰減時，P_2 小於 P_1，N 爲負值）。

因爲功率 $P = I^2R = V^2/R$（式中 I 和 V 分別爲電流和電壓的有效值・R 爲負荷電阻），故在輸入端電阻與輸出端電阻相同的電路中有：

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{I_2^2}{I_1^2} = \frac{V_2^2}{V_1^2}$$

因而可用電壓的比式來代替功率的比式（用電流比式也可以），並由此得出：

$$N = 20\, log \frac{V_2}{V_1} \qquad (2)$$

當輸入端與輸出端的電阻相等時，這個式子便和（ 1 ）式一樣，確定著功率的放大。不過我們經常注意的是電壓放大，而且有時輸入端與輸出端的電阻可能並不相同（例如放大器）。在這種情況下，放大仍是用分貝表示，也是用（ 2 ）式來計算。不過在這種情況下，因爲沒有輸入端與輸出端電阻相等的條件，分貝在這裏便只確定電壓的放大，而與功率放大完全無關。

右表所列的電壓比值，近似地對應於所列的分貝數。

若兩音強度爲P_1及P_2，則其強度之差爲

$$\log_{10}\frac{P_1}{P_2}\text{貝}$$

或 $$10\log_{10}\frac{P_1}{P_2}\text{ 分貝}$$

分貝 db	$\frac{V_2}{V_1}$	分貝 db	$\frac{V_2}{V_1}$
0	1	6	2.0
1	1.12	7	2.2
2	1.26	8	2.5
3	1.4	9	2.8
4	1.6	10	3.2
5	1.8	20	10

因爲我們的聽覺自可聞底限（*threshold of audibility*）起聲音強度增至極大之比率爲一至10^{12}，故用對數標度較方便。一分貝表示強度的增加爲 26 ％，這大約是人耳能聽到的最小改變。使用分貝標度時，一音符的強度比較標準常以相同頻率的音符的底限強度爲準；此時音符的相對大小稱爲感覺級（*sensation level*）。聽者對音符的響度雖然與其強度的對數值有關，但分貝不是響度的量度，因人耳對強度改變的靈敏度隨頻率而變，音符的等效響度是以昉（*phon*）量度。

【分貝標度】（Decibel scale）

在聲學中，無論氣體、液體或固體，壓力都是密度的函數。聲波未傳到的地方，是保持平衡的，設此時壓力爲P_0，密度爲ρ_0。介質裏壓力與密度的關係可以用某個特定的關係式$P=f(\rho)$表示。因此平衡時，$P_0=f(\rho_0)$。由聲波而使壓力產生的改變很小，我們有一個較方便的壓力單位稱爲巴（*bar*），一個巴＝10^5牛頓／米^2。一個標準大氣壓與一個巴的值很接近：$1\ atm=1.0133\ bars$。在聲學裏，我們取強度的對數值，這是因爲人耳的感覺度約略與強度的對數值成正比。這種標度稱爲分貝標度。分貝標度裏聲壓的等級I（*acoustic pressure level*）與實際壓力P的關係式爲

$$I = 20\ log\ \frac{P}{P_r}$$ （單位爲分貝）

P_r 是參考壓力，其值是 $P_r = 2 \times 10^{-10}\ bar$ 。在 $P = 10^3\ P_r = 2 \times 10^{-7}\ bar$ 時，所產生的聲音爲60分貝。根據原來的定義，取 P 時是以"均方根壓"（ *root mean-square pressure* ）爲準， 而不是取聲波的最高壓力，均方根壓等於（ 1／2 ）$^{1/2}$ 乘以最高壓力（ *peak pressure* ）。 我們看到產生聲音時壓力的改變與平衡時的壓力（約一大氣壓）相比非常之小。對應的氣體位移和密度改變也極小。當爆炸的時候，壓力的改變就不再是這麼小，所產生的逾量壓（ *excess pressure* ）會比一個大氣壓還大。感覺有聲的壓力強度，通常說來不超過 100分貝。當壓力強度爲 120分貝時，人耳會感到刺痛。

【分佈函數】（ Distribution function ）

在相位空間中單位體積中的粒子數或密度函數，爲三維空間坐標和三維速度坐標。相位空間中的一點代表通常空間中的一定位置和速度空間中的一定速度，故在此點所求得的分佈函數是單位立方體及立方速度內粒子的數目或平均密度，各粒子的位置和速度與該點所表的位置和速度相同。

【分佈電容】（ Distributed capacity ）

導線、線路等的各個單獨區段所具有的電容，此種電容在這些區段之間的分佈是均勻的。這種電容叫做分佈電容，是爲了與電容器的集中電容有所區別。分佈電容是任何一種導體都具有的，並且常常起著十分重要的作用，例如在天線內，天線導體的分佈電容就決定著天線的固有波長。高頻電路的接線及電子管的引線等的分佈電容常常嚴重地影響著這些電路的工作。

【分波】（ Partial wave ）

代表一散射過程之波函數中與某一角動量相對應的部分。如將散射

幅對各角動量展開時所得各項係數稱爲分波散射幅。分波散射幅僅爲能量的函數，而與散射角無關。散射矩陣的么正性用分波散射幅表示時其形式特別簡單，故分波分析爲常用的技巧。

【分析力學】(Analytical mechanics)

自從牛頓創立的運動定律把動力學置於堅固的基石上之後，力學便循兩個支流而發展。從牛頓運動定律直接發展下來的一支，稱爲向量力學(*vectorial mechanics*)。向量力學的特徵，是以“動量”測定“力”的效應。若一質點所受的力爲已知，則該質點的運動情況便可完全確定。由於動量和力等具有方向性，故稱爲向量力學。

由萊伯尼玆(*Leibnitz*)創始，又經拉格朗(*Lagrange*)和漢彌頓(*Hamilton*)發展下來的一支力學，稱爲分析力學。分析力學的特徵，在於依循變分原理(*variational principle*)，僅用兩個無向量(動能和勢能)，便可決定一個複雜系統的運動。

分析力學把力學問題歸納於一個統一的解法。它的最大優點是討論一個複雜的系統時，係把系統當作一個整體來研究，不像向量力學必須考慮每一個質點所受的力以及其相互的關係，才能決定系統的運動。

【分流電路】(Shunt circuit)

測量電流用的電表，測量較大電流時，常利用分路電阻作分流用。

【分段開關】(Shunt switch)

照明工業上安裝電燈，通常均採用並聯法。並聯法的優點是各燈皆有自身之開關，故使用時可以互不相涉。此一優點爲串聯法

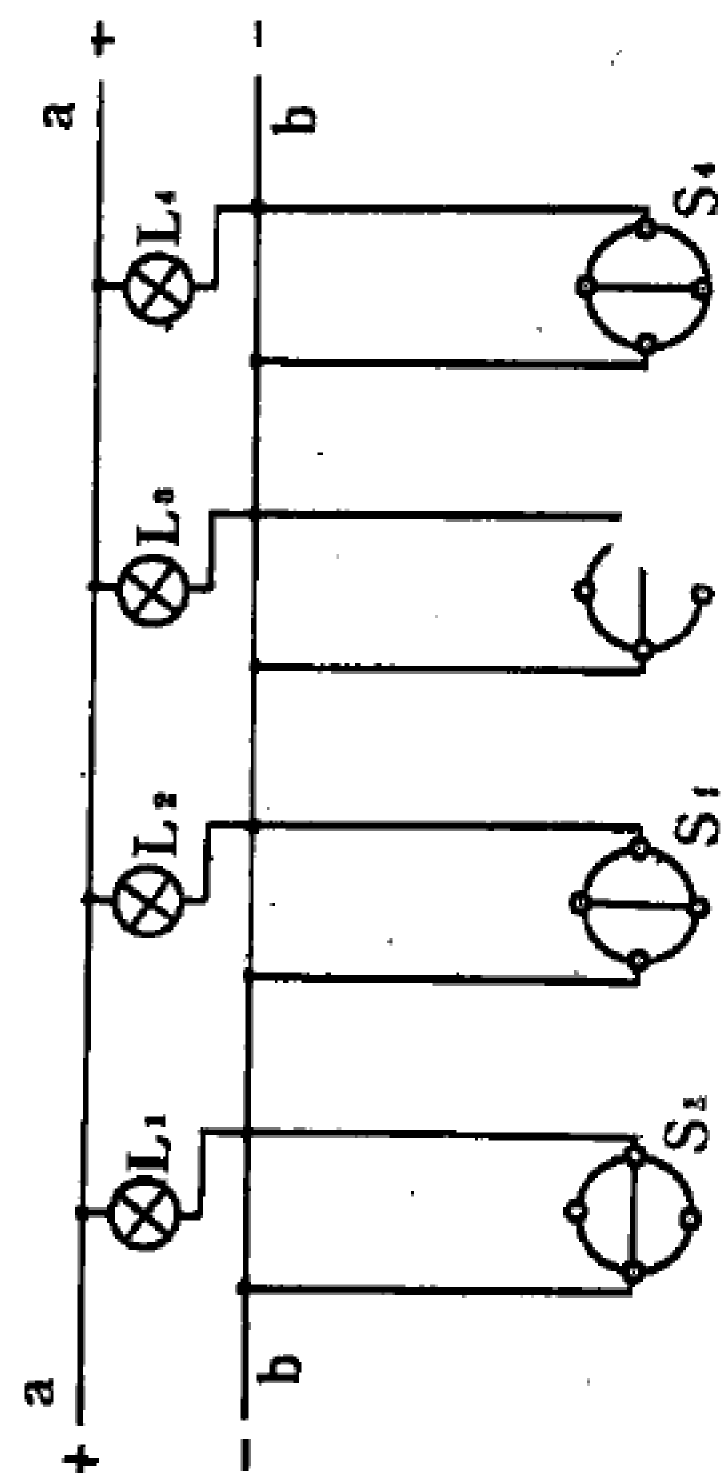


圖 4 — 77

所無，因串聯時所有白熾燈須同時點燃，如有一燈燒毀，則其餘各燈全部跟著熄滅。在圖 4 — 77 中 *a* 和 *b* 代表城市網路的兩條導線，L_1、L_2、L_3、L_4 代表四座並聯的白熾燈；S_1、S_2、S_3、S_4代表這四座白熾燈的開關。開關在圖中的配置方式，表示 L_1 和 L_3 正在燃亮，而 L_2 和 L_4 已經關掉了。

大廳廣廈之中多裝設分段開關，其方便之點是開亮之燈數可多可少，悉聽君便。此種開關之構造原理，如圖 4 — 78 所示。從圖中開關的配置方式可以看出，(*a*)圖表示所有電燈都已關熄，(*b*)圖表示 4 和 5 正在燃用，(*c*)圖表示所有電燈都已開亮，(*d*)圖則表示僅有 1、2、3 開亮，其餘都關掉了。

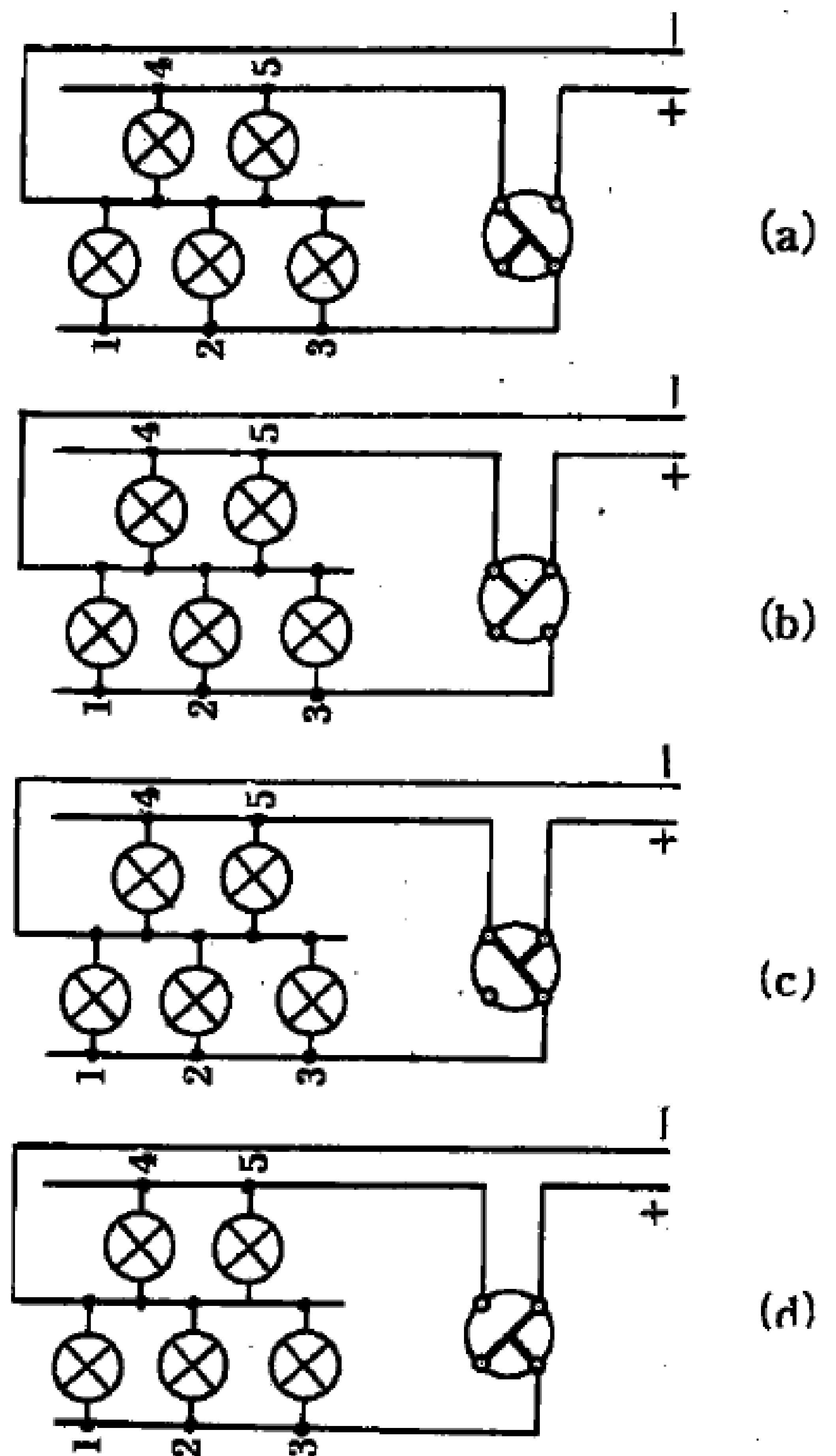


圖 4 — 78　分段開關

【分相器】(Phase splitters)

分相器爲供給推挽放大器兩個輸入之電路。分相器先將其輸入信號放大，然後將其分爲兩個輸出。一個卽爲原來之信號，另一個則爲原來信號完全相同，而倒相之信號。例如所放大之信號爲正方向之方形波，則分相器能供給一個正方向之方形波及一個負方向之方形波。

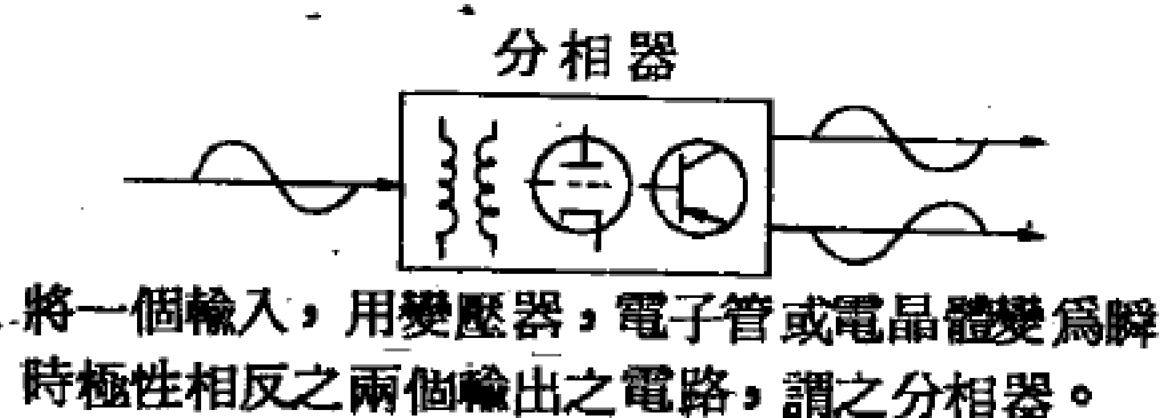
如所放大者爲正弦波，則分相器之兩個輸出，可視爲彼此相位差 180° 之正弦波。正弦波極性之倒相，其效果與相位轉移 180° 完全相同。所以倒相信號，雖是極性之倒反，而不是相位之轉移，但通常將倒

相器之輸出稱爲相位差 180°。

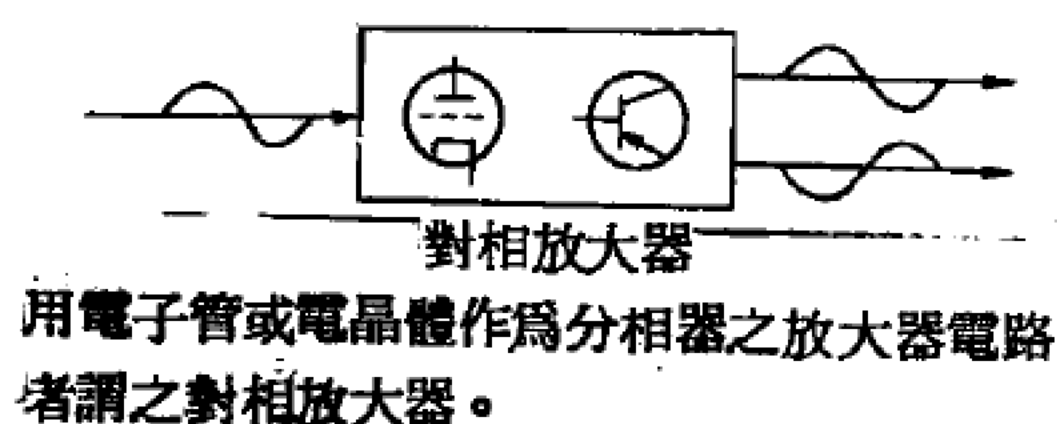
分相工作可用變壓器，眞空管或電晶體以完成之。如用電子管或電晶體之放大電路，此電路亦稱爲對相放大器（*paraphase amplifier*），有時亦常被稱爲倒相電路（*inverter circuits*），分相器有兩個輸出，但倒相器則只有一個將輸入信號倒相之輸出。

很多電晶體及電子管之放大器，在放大時，自動將信號倒相。倒相器電路之工作，雖與前者相彷，但其基本要求在於顚倒信號之相位，放大只是附帶的要求，故兩者目的不同。

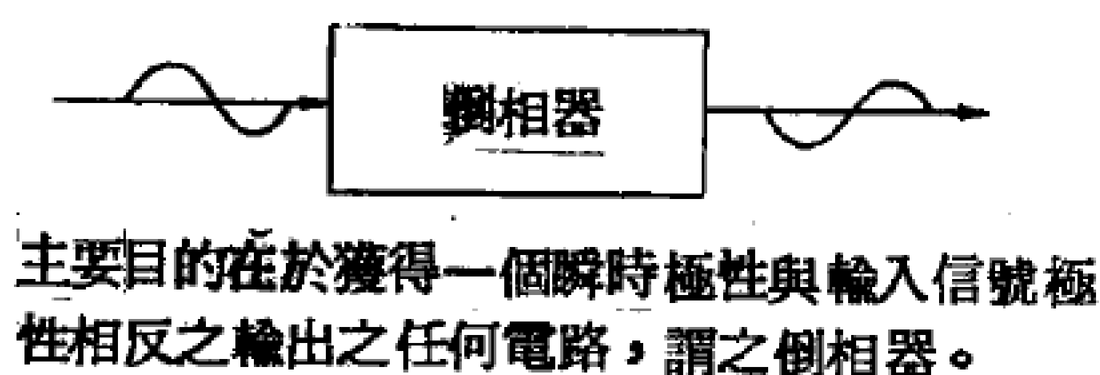
有關分相器、對相放大器及倒相器之區別，請參閱圖 4 — 79 及說明。



將一個輸入，用變壓器，電子管或電晶體變爲瞬時極性相反之兩個輸出之電路，謂之分相器。



用電子管或電晶體作爲分相器之放大器電路者謂之對相放大器。



主要目的在於獲得一個瞬時極性與輸入信號極性相反之輸出之任何電路，謂之倒相器。

圖 4 — 79

【分裂】（Fission）

一個重原子核因受外界的刺激，分裂爲兩個或多個輕原子核的現象，稱之爲核分裂（*nuclear fission*）。這種分裂爲原子核反應的一種特殊形式。通常用快中子或慢中子可引發核分裂的產生。一可分裂原子核吸收一中子後分解成質量大約相等的兩輕原子核及附有分裂中子，在

分裂過程中並釋出大量的核能（約 200 *MeV*，分配如表一）。正因爲在一特定情況下，分裂過程可爲自持而連續不斷放出能量，故成爲核反應運轉的基礎。通常作爲核分裂的物質爲鈾-233、鈾-235、及鈽-239等。快中子能使天然鈾中的鈾-233、鈾-235及鈾-238等發生分裂，但慢中子僅能使鈾-235發生分裂。快中子亦可引起其他物質發生核分裂，幾種由快中子引發分裂的底限能量（*threshold energy*）如表二所示。

表一　核分裂時所釋出的能量分佈

	能量（*MeV*）
分裂產物的動能	167 ± 5
即時 γ 射線	6 ± 1
分裂中子的動能	5
延遲之 γ 射線	6 ± 1
β 粒子	8 ± 1.5
每次分裂釋出的總能量	204 ± 7

表二　中子引發分裂的底限能量

原子核	底限能量（*MeV*）
$^{232}_{90}Th$	1.55
$^{233}_{92}U$	< 0
$^{234}_{92}U$	0.61
$^{235}_{92}U$	< 0
$^{236}_{92}U$	1.15
$^{238}_{92}U$	1.50
$^{237}_{93}Np$	0.62
$^{239}_{94}Pu$	< 0
$^{240}_{94}Pu$	0.66
$^{241}_{95}Am$	0.93

表三　光子引發分裂的底限能量

原子核	光子分裂底限能量（*MeV*）
$^{232}_{90}Th$	5.9
$^{233}_{92}U$	5.5
$^{235}_{92}U$	5.75
$^{238}_{92}U$	5.85
$^{239}_{94}Pu$	5.5

有些物質會自發核分裂（*spontaneous fission*），例如鉲-252

、鈽 - 240 及鈾 - 235 等。核反應除由中子引發外，亦可由足夠能量的帶電粒子及 γ 射線引發之。後者以 γ 射線引發的稱爲光子分裂（ *photo fission* ）。幾種元素的光子分裂之底限能量如表三所示。

由低能量中子所引發的核分裂反應並非對稱者，即分裂產物恆包括一較輕的原子核及另一較重者，兩者的質量比爲 2 ∶ 3，且每次分裂時其生成物不一定相同。圖 4 — 80 表示由熱中子所引起鈾 - 235 及鈽 - 239 分裂時生成物的分佈情形。較輕的分裂產物集中在質量數爲 90 至 100 之間，而較重的分裂產物集中在質量數爲 130 至 140 之間。

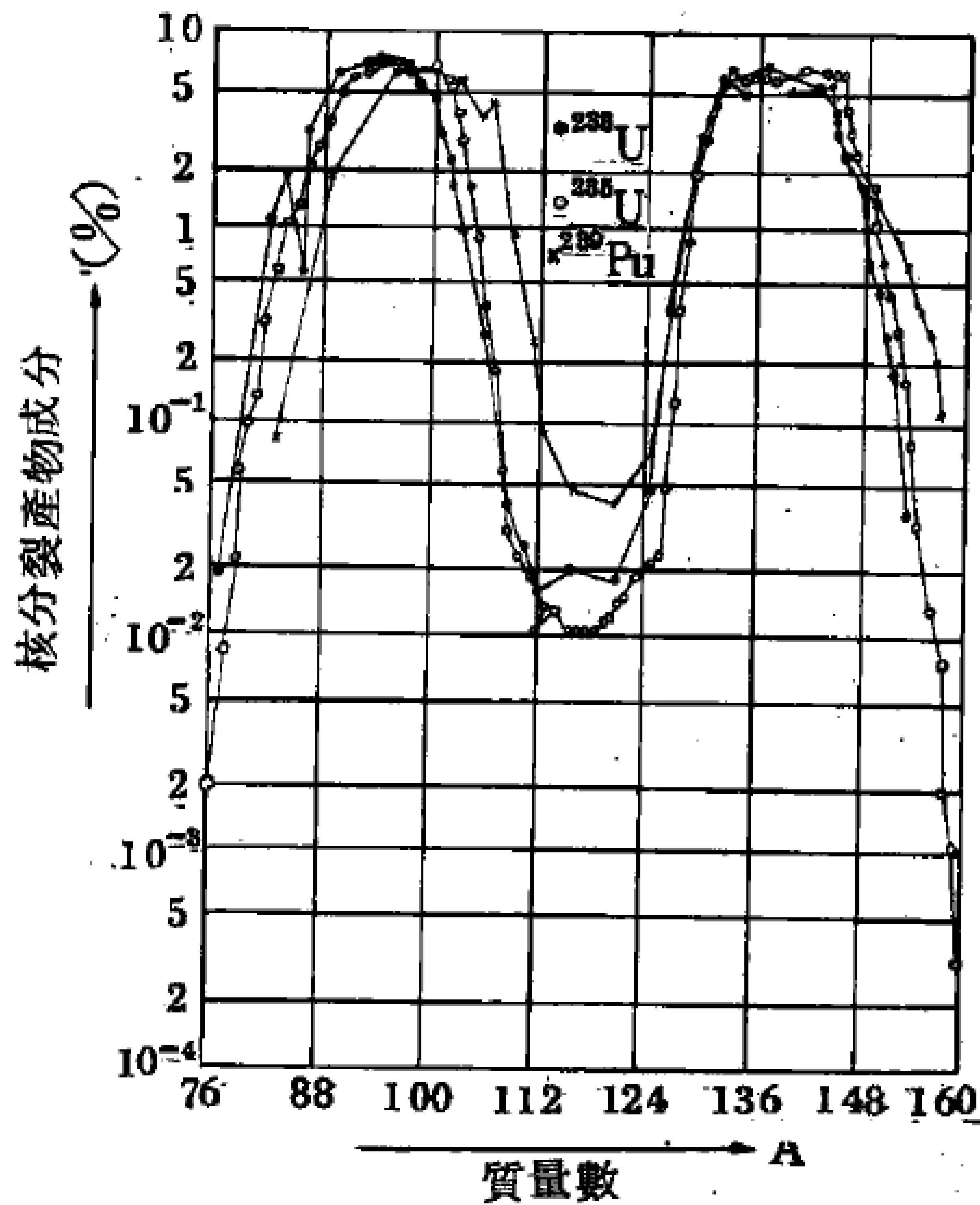


圖 4 — 80

原子核分裂的現象，是在 1939 年，由哈恩（ *Hahn* ）和斯特拉斯曼（ *Strassman* ）首先發現的，他們正在研究中子撞擊鈾之反應，其生成物經化學鑑定爲鹼土金屬，當初認爲此新生成物爲最重之鹼土金屬 $^{226}_{88}Ra$ 。但是經過更多的試驗，發現它卻是鋇之放射性同位素 $^{139}_{56}Ba$，而且該過程有許多反常的現象，產生的中子比撞擊時耗用的還多，梅特涅（ *Lise Meitler* ）和弗烈希（ *Frisch* ）還注意到該反應釋放出大量的能量，哈恩和斯特拉斯曼便將此一過程稱爲“分裂反應”。

【分裂中子能譜】（ Fission neutron spectrum ）

因分裂反應而新生的中子稱為分裂中子。分裂中子的能量分佈甚廣，例如由熱中子引發鈾-235分裂時的中子能譜可以下述的經驗公式表示：

$$N(E)=C_1\sqrt{E}\,e^{-C_2E}$$

式中$N(E)$表單位能量中能量為E的中子所佔之百分數及

$$C_2\cong 0.725\ (MeV)$$

$$C_1=(2/\sqrt{\pi})\,C_2^{3/2}=0.770$$

$N(E)$的分佈如圖4—81所示。圖中縱坐標表$N(E)$，以量得的中子數為單位。由上式得最大的百分數出現在$E_n=0.65\ MeV$時，而分裂中子的平均能量為$1.95MeV$。

由分裂而引發的延遲中子，其能量通常都較低，其平均能量在300至500 KeV之間。

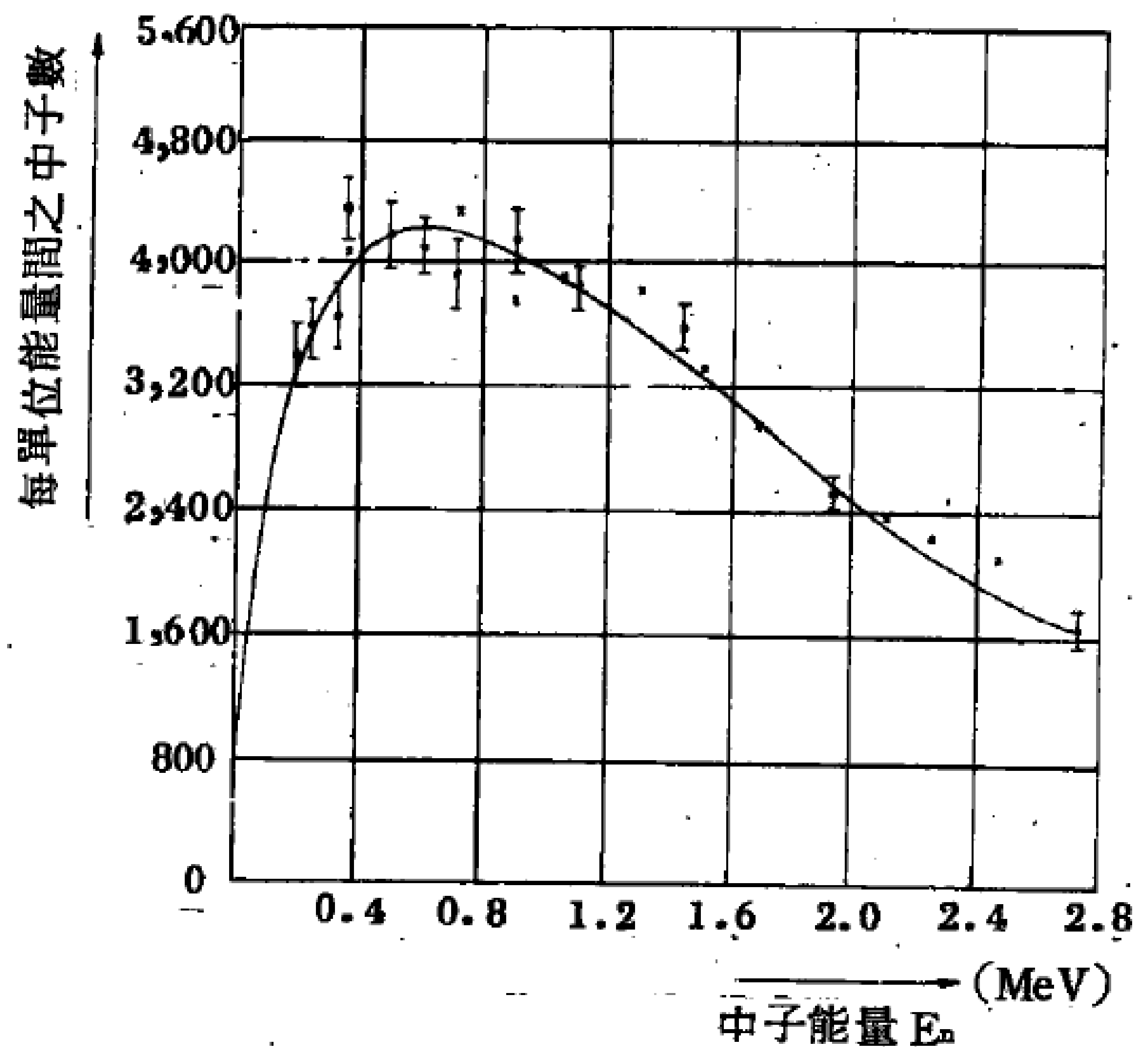


圖4—81 $^{235}_{92}U$分裂時分裂中子的能譜

【分裂核能火箭】(Nuclear-fission rocket engine)

火箭引擎產生之馬力，大小在於火箭引擎內部的溫度及所用推進劑的種類與火箭噴氣速度間的相互關係，此關係式可寫成如下：

$$V=k\sqrt{\frac{T}{m}}$$

式中V是噴氣速度，T是氣體在引擎內之溫度，m是噴出氣體的平均分子量，k是比例常數。顯而易見T/m的數值愈大則引擎的效能愈高。我們再看看化學火箭與核能火箭間T/m之情形，在化學火箭中T是由推進劑燃燒所產生，噴出氣體的分子量為推進劑與氧化合後生成物的分子量，可以推論比氧分子量為高。在核能火箭中，熱能由核子分裂而得，這種熱能可以加熱於任何種低分子量氣體。雖然核能火箭因所用構成核反應器核心之材料所能承受之溫度（也就是被加熱氣體之最高溫度）較低，但能加熱最輕的物質氫氣，所以仍可獲得最高的T/m數值，這也是為什麼核能火箭引擎較好的地方。

核能火箭的原理，簡言之，就是將氫氣通過核子反應器，加熱後，經噴嘴以高速噴出而產生推力。

至於核能火箭與化學推進劑火箭之比較：噴氣溫度決定於推進劑的流率及反應器的功率，但衝力與流率無直接關連。在核能火箭中有三項無關連因素：壓力、溫度與流率，而在化學火箭只有流率與壓力兩項無關連因素，故控制系統以核能火箭較複雜。核能火箭用液體氫作推進劑，故其流率必須與反應器的功率配合。也像化學液體燃料火箭一樣，另有一套複雜的控制推進劑（液體氫氣）流率的系統。反應器幾乎無限供應熱能使分子量低的物質加熱，產生推力。因為傳統核能火箭受到結構材料的溫度限制，溫度可能低於化學火箭，但減少推進劑的分子量是很大的優點。舉例來說，最好的化學火箭在每平方吋500磅燃燒室壓力下，燃燒溫度為5,000°F時，可得到噴速約為每秒13,000呎（平均分子量為9）。核能火箭的工作溫度約為3,000°F，這樣的溫度大約低於化學火箭工作溫度約40%，假如壓力相同時，因其推進劑分子量為2，可產生每秒19,000呎的速度，故其噴氣速度高於化學火箭約50%，若溫度提高到4,500°F，可產生每秒24,000呎的速度。反應器的放射性足以使未加防護的控制與導向裝備遭到損害，故必須增設防護

系統。核能火箭所產生高速度噴氣的優點，雖部分爲反應器及其防護設備抵銷，但核能火箭在飛行於行星間，或載重較大時，仍遠較化學火箭爲優。

【分裂鏈】(Fission chain)

如 ${}^{140}_{54}Xe \rightarrow {}^{140}_{55}Cs \rightarrow {}^{140}_{56}Ba \rightarrow {}^{140}_{57}La \rightarrow {}^{140}_{58}Ce$ (穩定)

表示一放射性核子蛻變的過程，這就叫做分裂鏈。

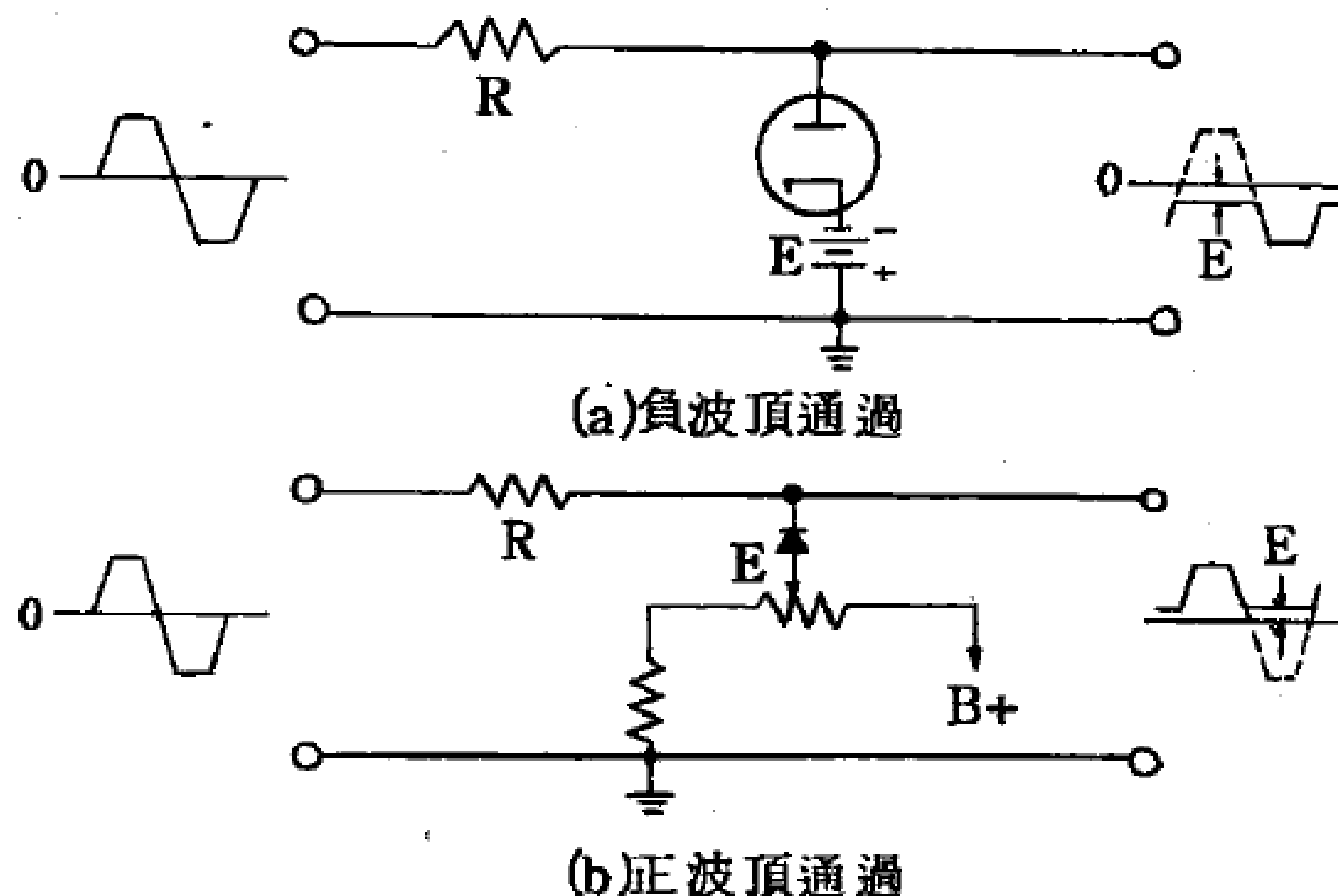
【分裂變形能】(Deformation energy of fission)

在核分裂中，使一個球形的核子變成橢圓形核子所需的能量；等於 $\epsilon^2\left(5.2A^{\frac{2}{3}}-0.117\frac{Z^2}{A^{\frac{1}{3}}}\right)$，其中 ϵ 是變形度，A 是質量數，Z 是原子序。

【分割器電路】(Separator circuits)

用限制器以去除正波頂或負波頂 (或兩者同時去除)，亦有時，我們只需要波頂，而反將其他部分去掉的，擔任此種工作之電路，稱爲分割器或截割器 (*clipper*) 電路。

圖4—82(a)所示爲只能通過輸入負波頂之兩極管分割器電路，此一電路與並聯限制器相似，只是限制器偏壓，在沒有輸入信號時，使兩極管截止，而此處分割器之偏壓，則在無輸入信號時，使兩極管導電，當所加之輸入信號爲正半週時，信號驅使屏極較陰極更正，故兩極



(a)負波頂通過

(b)正波頂通過

圖 4 — 82

分割器電路保留信號之波頂，而去除其他部分。

管繼續導電，如是整個輸入電壓，在串聯電阻 R 內降壓，分割器之輸出即被定位於偏壓 E 處。

當輸入信號爲負半週時，驅使兩極管屏極向負方向進行，因輸入電壓與其偏壓爲極性相反之串聯，故在偏壓大於輸入信號時，兩極管繼續導電，直至輸入電壓超過偏壓，兩極管才被截止。此時電路內有輸出，並隨信號電壓之變而變，直至信號電壓下降，兩極管再導電時爲止。照此方法進行，所以電路內只有輸入信號之負波頂能通過。兩極管截止及開始通過波頂之階層，則由所用之偏壓值以決定之。

只通過正波頂之兩極體分割器如圖 4 — 82(*b*) 所示。此兩極體從其所接偏壓之極性，可知其所分流者爲輸入負半週之全部及正半週之一部分。此兩極管截止正波頂，並使其通過電路，從此電路亦可以看出，由偏壓之設定位置，可以控制其分割點，變更設定位置可變更截取信號波頂之大小。

前述分割器電路之兩極管（體）亦可用電子管或電晶體代替之。如此不但仍可以作爲分割之用，同時還可以獲得放大。圖 4 — 83(*a*) 爲電視機內所用之此種電路，能將同步脈衝從複合見像信號中分割出來。

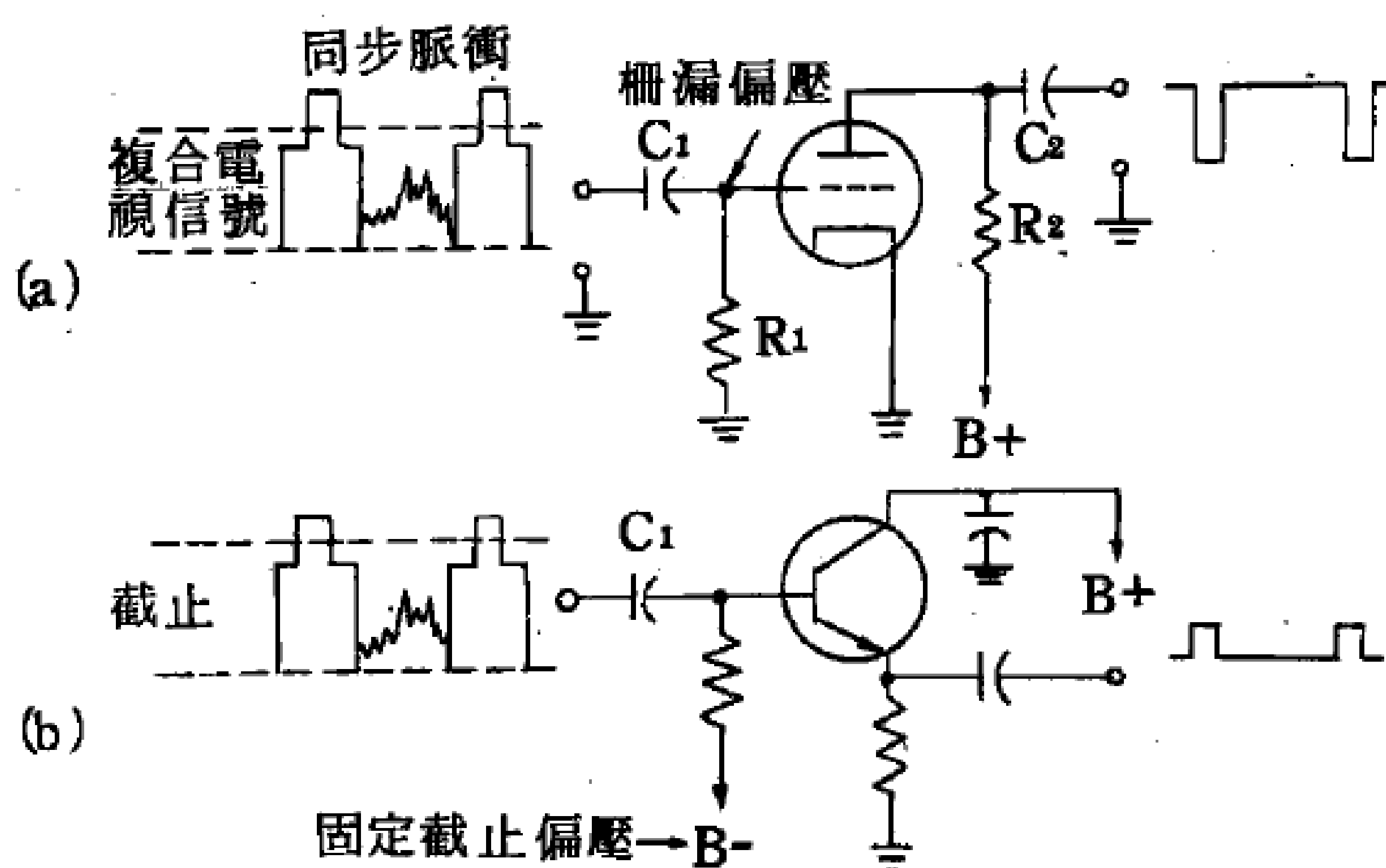


圖 4 — 83
分割器所加之偏壓，應使其超過截止點，並只准在輸入信號之正波頂時導電

加偏壓使三極管超過截止點，並使用較低之屏壓。如見像信號中同步之頂端，即能使電子管由截止變爲導電而飽和，使輸出成爲一放大而倒相之同步脈衝

。此電路常用柵漏偏壓（由 C_1、及 R_1 供給）以保持同步脈衝間電子管之截止。

如需要從分割器上獲得正輸出時，則可將此電路接成陰極耦合或射極耦合，如圖 4 — 83 (*b*) 所示。除另加固定偏壓及輸出改由射極電阻上取出外，其工作情形與圖 4 — 83 (*a*) 所示之電路一樣。射極耦合之缺點爲增益小於 1 。

【分層絕緣】(Layer insulation)

如電源變壓器的高壓圈，每層均使用分層絕緣，減少絕緣破裂的機會。

【分頻】(Frequency division)

由於外部的週期激勵而產生振盪，所生振盪的頻率恰爲外部作用頻率的整數分之一。有時把另外一種現象也叫做分頻，即所生振盪的頻率小於作用頻率，但二者的比不是整數關係，而是一個簡單的整數比例關係，例如 3：2、5：3等。分頻在自參量激勵及沉音佔據現象時發生，現已獲得了一系列重要的實際應用，例如用以精確測量振盪頻率等。

【分頻器】(Frequency divider)

用於分頻的儀器稱爲分頻器。

詳閱“分頻（*Frequency division*）”條。

【分諧波分發器】(Frequency divider)

頻率倍增器之作用，將輸入頻率乘以倍數，分諧波分發器之作用適相反，將輸入頻率除以整數，頻率倍增器使用正弦波信號，分諧波分發器則通常使用脈衝信號。如圖 4 — 84 所示，分諧波分發器之輸入爲一連續之脈衝列，其頻率數或重複率等於每秒鐘內之脈衝數，其輸出雖亦爲連續之脈衝列，但其頻率數則爲輸入頻率乘整數之倒數（如 1/2 、1/10 、1/100 等）。例如每秒 100 脈衝之信號，加於除 10 之分諧波分發器，則輸出之頻率爲 100/10 = 10 Hz（每秒脈衝數）。

分諧波分發器亦可串聯相接，頻率之總除數，即爲各分諧波分發器除數之相乘積。例如三個除 10 之分諧波分發器相串接，其總除數應爲 10 × 10 × 10 = 1,000，即輸入頻率之 1/1,000。

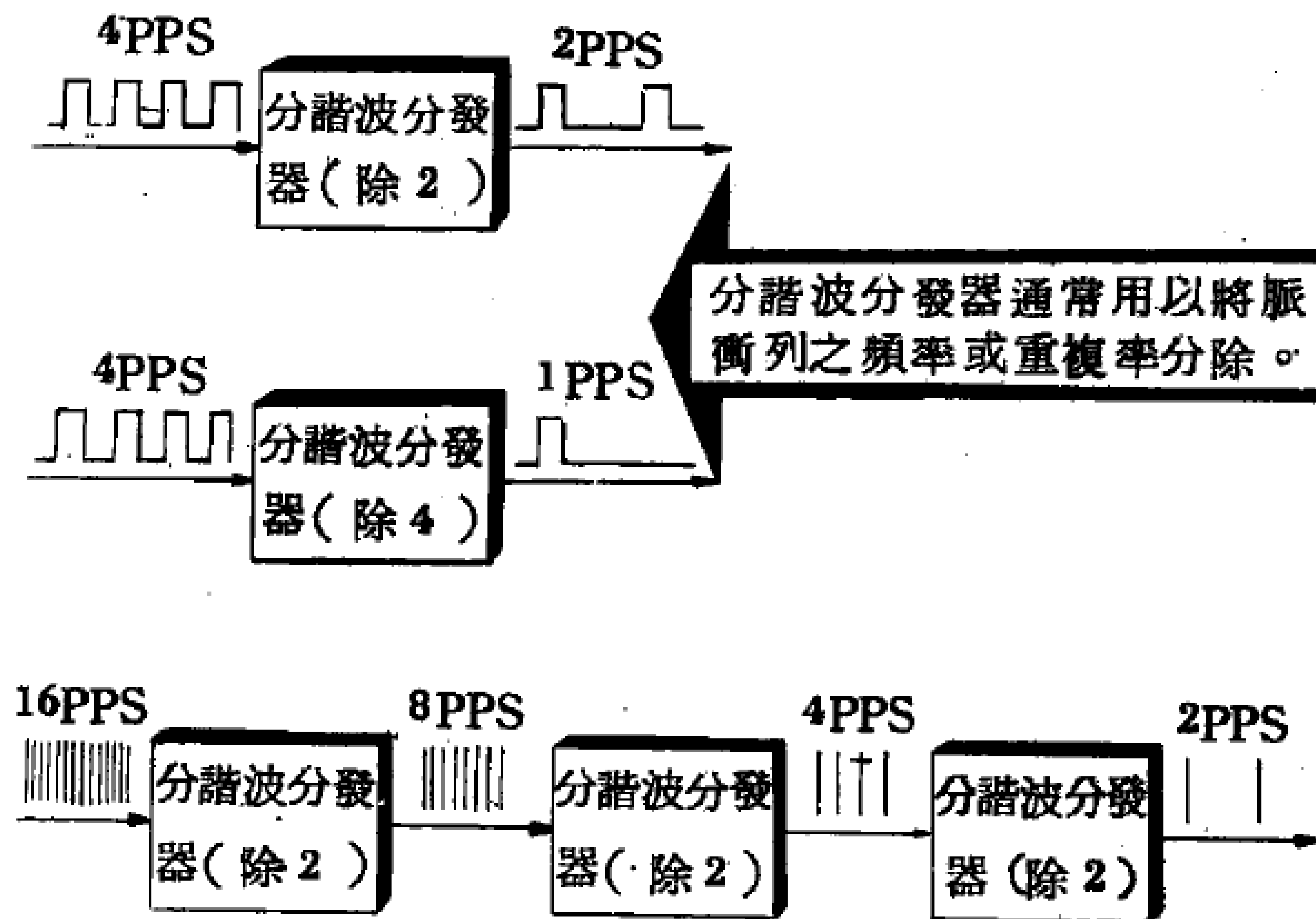


圖 4 — 84　分諧波分發器

【分諧波分發器計數器】(The frequency-divider counter)

如所要計數之脈衝太多時，則步進計數器電路即不能使用，因沒有多少脈衝，輸出電容器即會被充滿，如能將脈衝列分開成爲較少之脈衝，則上述電路即可使用。此脈衝列用分諧波分發器計數器加以分開，將脈衝率以 3，5，100 或 1,000……除之，然後再計數之。例如除 3 之計數器，每 3 個輸入脈衝，即有一個輸出脈衝；除 100 之計數器，每 100

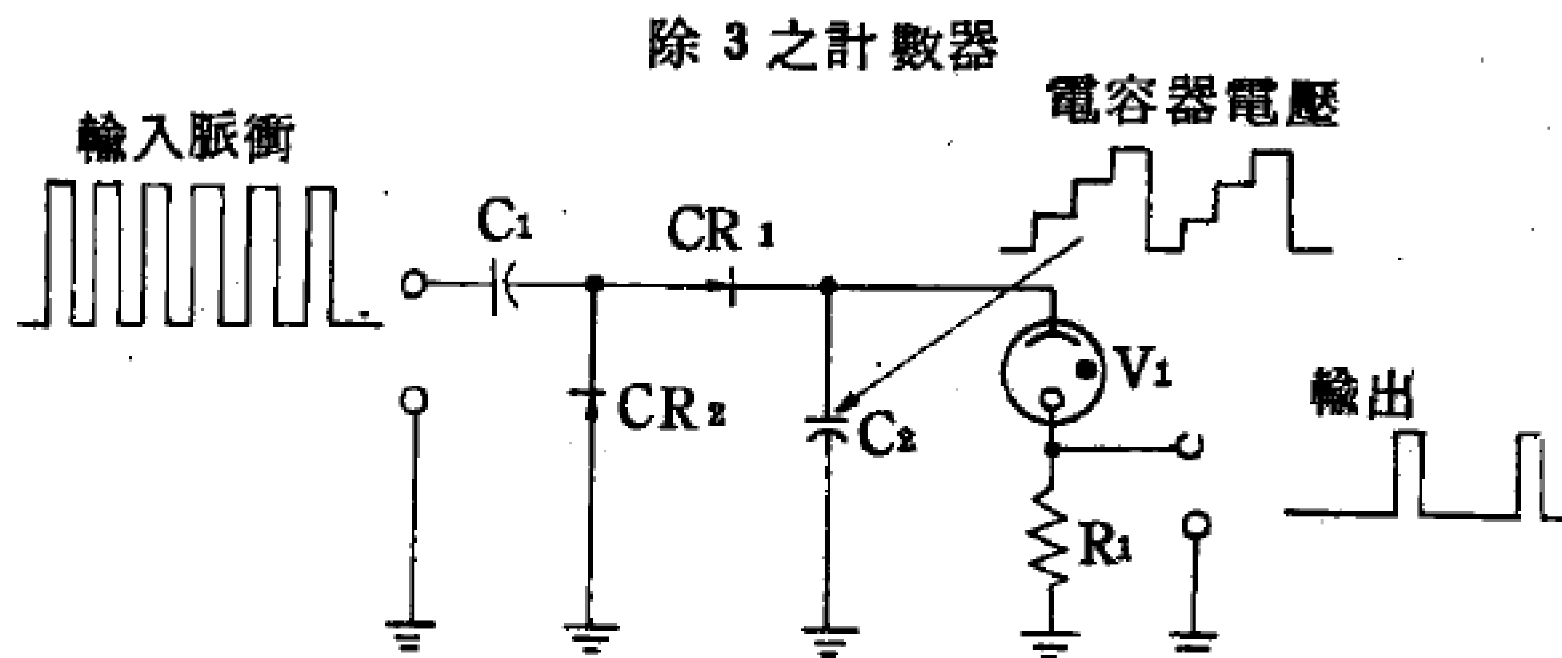


圖 4 — 85
三個輸入脈衝使 C_2 充電至 V_1 著火電壓階層，當 V_1 導電時，C_2 之放電電路完成，此放電電流在 R_1 兩端產生一輸出脈衝，故三個輸入脈衝產生一輸出脈衝

個輸入脈衝，即有一個輸出脈衝。當然計數器所測得之脈衝數，爲已被除後之脈衝數，必須在讀數上再乘以原用之因數，方能獲得原來之頻率。

一種簡單之分諧波分發器計數器內，含有一連串之充氣管及電阻，跨接於前述步進計數器之輸出，利用C_2兩端之電壓以激發充氣管導電。C_2到達激發階層，當須有一定數值之輸入脈衝，例如圖4－85所示，C_2在接受三個輸入脈衝後，即到達足夠之電壓，以激發充氣管導電，當充氣管導電時，C_2即經電阻R_1及充氣管放電，放電電流在R_1兩端產生一脈衝電壓，即可作爲一個輸出。C_2放電後充氣管截止，連接至另外三個輸入脈衝，C_2又充電至激發階層爲止。故此電路每三個輸入脈衝發出一個輸出脈衝。

【分激振盪器】(Separate excited oscillator)

發射機內的高頻功率放大器，用來放大主控振盪器的振盪。

【分激發電機】(Shunt generator)

如將場磁鐵的線圈與外電路並聯於二刷上之發電機如圖4－86，其外阻亦須一定，方可維持一定之電流在分激線圈中通過，以生一定之場強及電動勢。

分激線圈宜細且多，方可激發所需之場強。

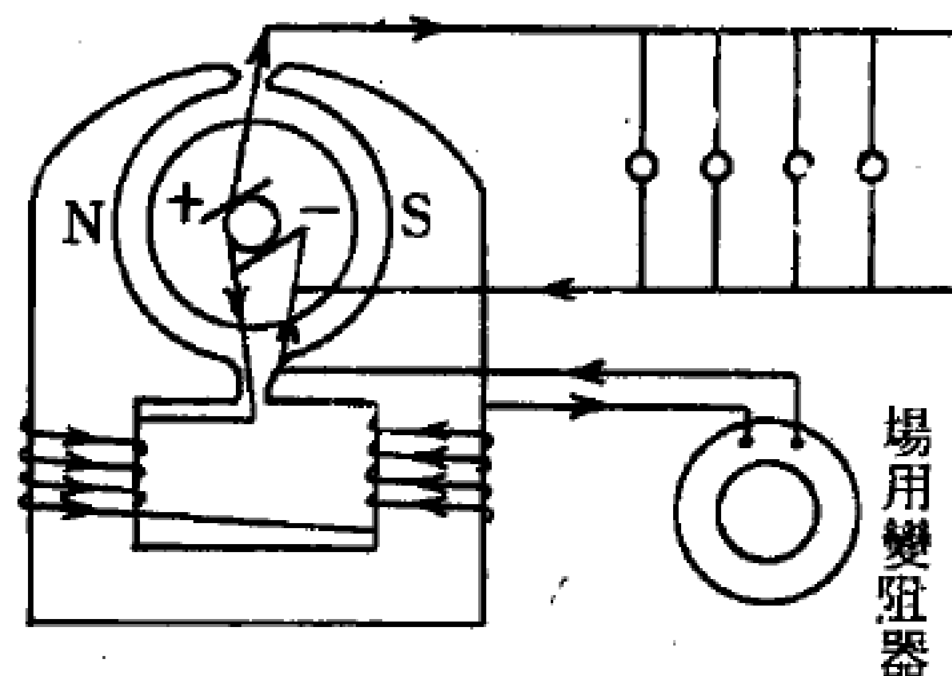


圖4－86　分激發電機

【分激電動機】(Shunt motor)

直流電動機的一種。是場磁鐵線圈與電樞線圈並聯者，如圖4－87。

起動轉矩(轉動力)雖比直激電動機小，但單位時間之旋轉數並不大改變，常作爲各種工作機械、抽水機、送風機等的動力之用。

此外複激電動機爲直激與分激的合併。可用於電梯等，作爲動力用。

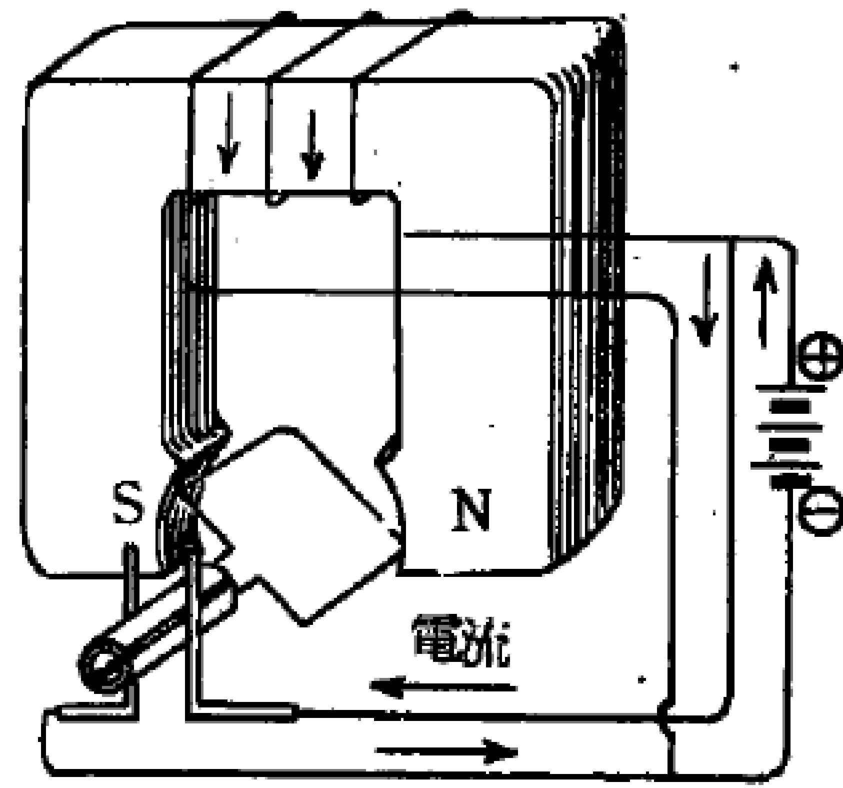


圖 4—87　分激電動機

【分壓】(Partial pressure)

混合氣體中各分量的壓力。

【分壓連接法】(Divided voltage connection)

在線路上常從較高電壓上截取指定之一小部分分壓，以適應各種需要。如線路上總電壓爲10 伏特，所需之電壓爲1伏特，即可在導線上選取距離等於導線全長 $\frac{1}{10}$ 的任意兩點，使與耗流電路並聯，這種連接方法稱爲分壓連接法或電位計式連接法。

實際的分壓連接法，多利用滑動變阻器。滑動變阻器之連接法如圖4—88所示。*A*和*B*是接線螺絲夾，*L*爲接線柱，係由變阻器的滑勾構成。如*A*和*B*之間的電壓爲220伏特，則只須令*L*左右轉動，即可在*A*和*L*之間，截得0到220伏特之間任何數額的電壓。

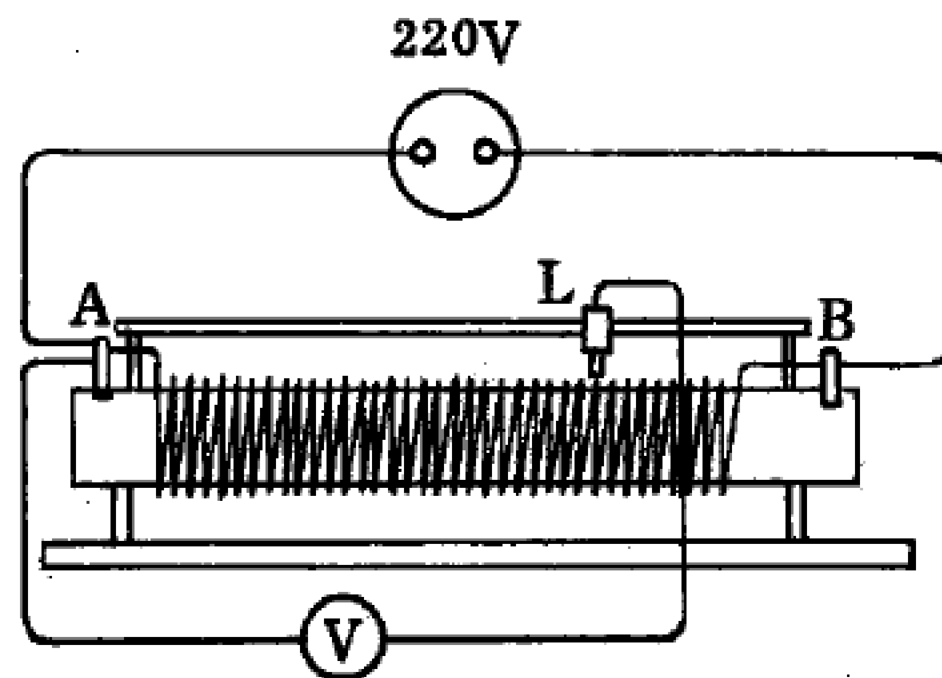


圖 4—88

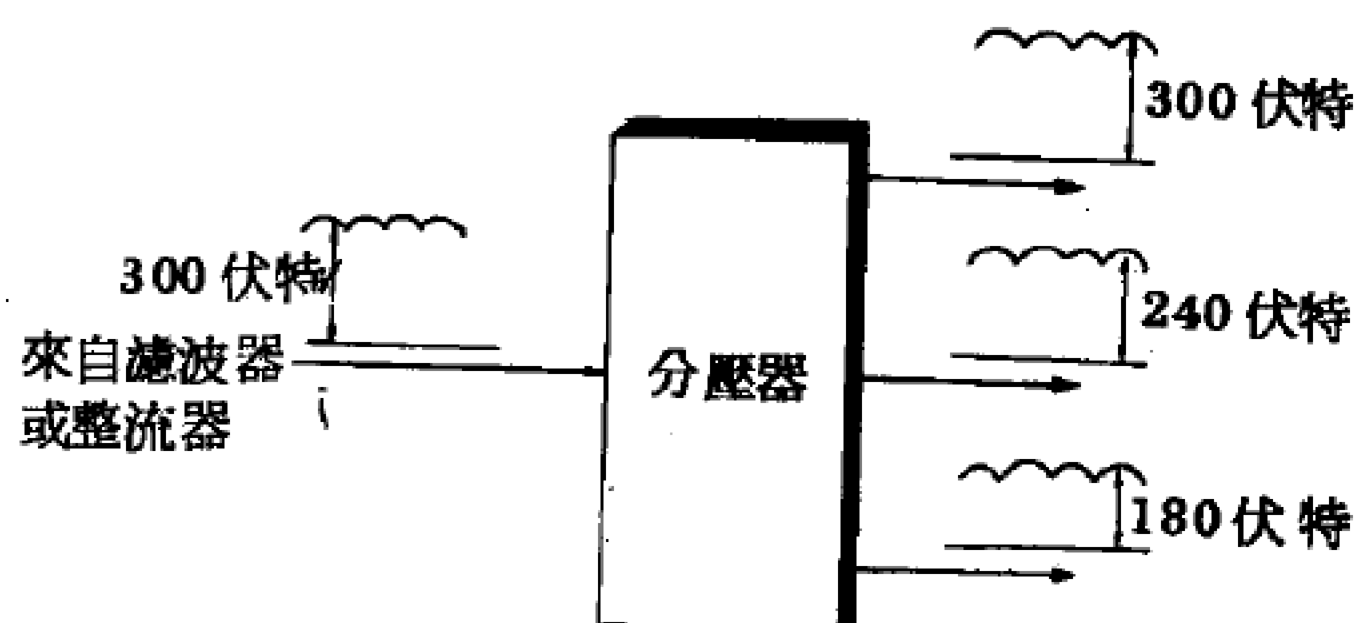
分壓連接法多使用滑動變阻器A B，後者裝有可以左右轉動的滑勾L。

碳化矽的電阻很高，故藉一根均勻的碳化矽棒之助，也可實行分壓連接法。取長爲22 厘米的碳化矽棒一條，連於220伏特電源的插座接觸點上；此時棒上每一厘米的電壓爲10伏特，如截取12厘米，即可得到120伏特的電壓。

【分壓器】(Voltage divider)

很多電子裝備內，需要一個以上之直流電源，例如某一裝備內，需

用300伏特、240伏特及180 伏特之三個直流電壓，以供給三種不同電壓之電路，當然我們可以用三個整流器及三個濾波器，以分別供給之。但如此做法，不但極不經濟，亦使裝備更趨複雜，解決之法，在一套整流器及濾波器之外，另加一分壓器，抽取不同之電壓，以供給不同電路所需要之電壓，如圖4—89 所示。此種分壓器之輸出，可在零伏特與整流器輸出電壓之中間，任意選擇電壓使用，例如一整流器及濾波器之輸出電壓為300伏特，則我們可採用適當之分壓器，在0～300伏特間任意選用所需要之電壓。



分壓器之輸入為一個電壓，其輸出可為兩個或兩個以上之電壓。有時一個電壓可用一個以上之分壓器。

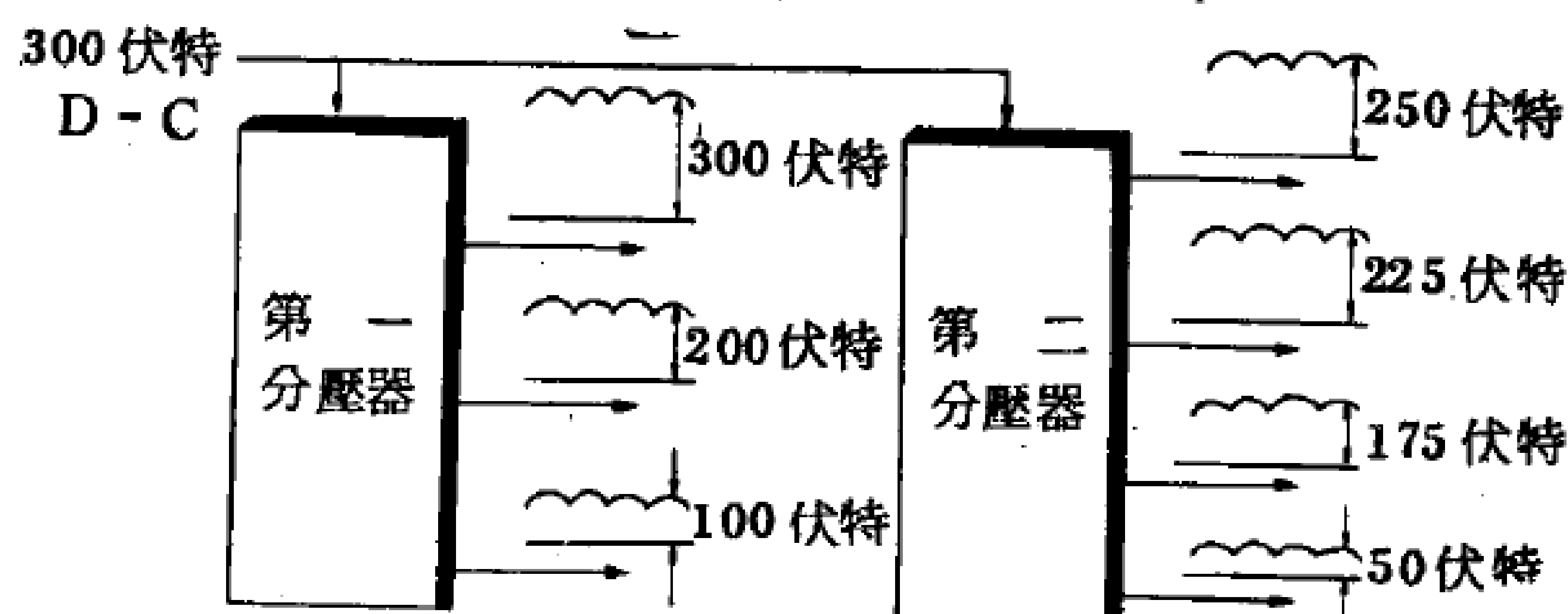


圖4—89 分壓器

【分離之平均距離】(Mean distance of separation)

在討論電漿運動時，並不看每一個質點的運動情形，在此種情況，我們所使用的是巨觀法。如用微觀法，則組成電漿的不同質點，都必須仔細地觀察其行為。

想像有一個人，在一棟建築物的四樓窗戶旁邊站著，等候著要玩球的一些人，從他所站的位置來看，他僅能見到沿著運動場邊路上穩定流

動的人羣，這人羣的流動，就像是電漿在流動，觀看的人無法看清楚在人羣裏個人的動作，因爲他是用巨觀法來觀察的。但是，假定他使用一對很好的望遠鏡看這羣人流，他此時是用微觀法。現在，他能看到許多個人的運動情形。

質點可想像成在球賽中的球員，因爲它們得到了些東西，又把這些東西傳給別的質點；因此連想到電漿質點，或稱遷移遞傳質（*transport carrier*）。它們也經常的移動，而其間平均距離也在改變。在電漿物理學裏，這個距離稱爲分離的平均距離。顯而易見地，在一定體積中，電漿質點愈少，其距離也愈大。

如果在一個特別固定的體積內，質點數目增加的話，則這些質點會愈形靠近。不過，因爲質點從事於一定的擾動（*random motion*），因此在它們之間相互的距離也一直在變。顯然地，在質點之間無一特定的距離。

分離的平均距離是一個代表性的距離，在許許多多不同的質點距離中，它是一種最方便的表示法。用 L_s 代表這個距離，定義如下：

$$L_s = (1/2n_e)^{1/3}$$

在上式中，單位體積的電子數目，即電子密度 n_e ，很自然地放在分母，因爲這個數目愈小，質點之間的距離就愈大。在分母中 2 這個數目是必須的，因爲在中性電漿全部電離後，正電荷質點的數目是等於帶負電荷質點的數目。因而質點的數目是等於二倍的電子數。在分子中 1 的出現乃是因下列原因：電漿是在一單位體積內，譬如說，在一立方體內，它每一邊都是 1 厘米長，在式中，其右邊必須取立方根，因爲 n_e 的單位是每立方厘米的數目，而體積的開立方是長度。例如在一電漿體之中，其密度爲每立方厘米有 10^{12} 個電子數，則在其遞傳質點之間的平均距離爲

$$L_s = (1/2\times10^{12})^{1/3} = \frac{1}{1.2599\times10^{4}} \simeq 7.95\times10^{-5}\text{(厘米)}$$

這裏得到的 L_s 數據即爲分離的平均距離。雖然有一些質點的距離大於這個數目，有一些小於這個數目，L_s 對質點之間的距離給予一較公平合理的觀念。實際上，質點互相接近，比一毫米還來得小，這也就是我們討論小距離時，不用米而用厘米的緣故。

$L_s = 7.95 \times 10^{-5}$ 厘米的距離是比以前所提的立方體之邊 1 厘米小得多，不過 L_s 仍然比質點的大小來得大，因爲原子半徑（從原子核中心到最外層的電子軌道）大約是 10^{-8} 厘米，換句話說，L_s 大約比質點大 10,000 倍。因而，我們得到一個結論，雖然質點一直在移動，它們並不眞的碰撞在一起。

【分離因數】(Separation factor)

分離因數 $r = \dfrac{\dfrac{n_1'}{n_2'}}{\dfrac{n_2}{n_1}}$，其中 n_1、n_2 爲質量數，分別爲 m_1、m_2 同位素最初的摩爾分量，n_1'、n_2' 爲經過某一過程後的摩爾分量。

【分離能】(Separation energy)

欲使一原子核中分離出一個核子所需的最少能量，稱爲該核子的分離能，以符號 S 表之。此分離能即等於該核子在原子核中的結合能。

就中子及質子而言，從質量爲 $M(A, Z)$ 及結合能爲 $B(A, Z)$ 的原子核 (A, Z) 中，移出一個中子或質子所需的中子分離能 S_n 或質子分離能 S_p 分別爲

$$S_n = B(A, Z) - B(A-1, Z)$$
$$= M(A-1, Z) - M(A, Z) + M_n$$
$$S_p = B(A, Z) - B(A-1, Z-1)$$
$$= M(A-1, Z-1) - M(A, Z) + M_p$$

式中 M_n 及 M_p 分別爲中子及質子的質量。

欲使一原子核中分離出一個 α 粒子所需的最少能量，即該 α 粒子的

分離能爲

$$S_\alpha = B(A, Z) - B(A-4, Z-2)$$
$$= M(A-4, Z-2) - M(A, Z) + M_\alpha$$

式中M_α爲α粒子之質量。

【分離速度】(Separation velocity)

太空飛彈或太空工具之某一部分分離之運動速度。例如地球衛星，當其從運輸工具分離時之速度即稱爲分離速度。

【化石】(Fossil)

過去地質年代裏的動植物，經地殼層保存下來後所發掘到的遺跡。

【化石燃料】(Fossil fuel)

由古代動植物的遺體所轉變而成的石油及氣體燃料。

【化學天秤】(Chemical scales)

使用於秤量100克內質量，精度至0.1克的精密測定。

【化學反應】(Chemical reaction)

在一不同成分的反應中，*a*摩爾的*A*和*b*摩爾的*B*反應生成*c*摩爾的*C*和*d*摩爾的*D*，而彼此之間有

$$aA + bB \leftrightarrows cC + dD$$

之關係者稱爲化學反應。

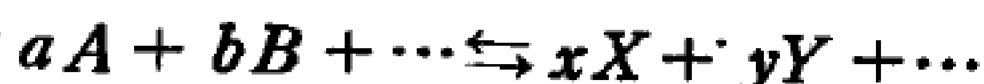
參閱“化學平衡(*Chemical equilibrium*)”條。

【化學平衡】(Chemical equilibrium)

在某已知溫度及壓力下，考慮中的系統，若其內部的組成物質的成分不隨時間而變，則稱此系統在化學平衡狀態。化學平衡僅爲熱力平衡的必要條件，而非充分條件，因熱力平衡除化學平衡外，尙須有熱平衡及力學平衡。

熱力學上的許多概念，如能量、熵、自由能量等均適合用於陳述化學平衡。

化學平衡的理論，源於質量作用定律（ *law of mass action* ）。此定律假定化學作用一般是可逆的，而化學平衡即爲參與反應的物質與生成物質間的動力平衡，以下式代表這種化學反應：



$$aA + bB + \cdots \leftrightarrows xX + yY + \cdots$$

根據質量作用定律，正反應與逆反應的速率分別爲

$$v_f = K_f \cdot [A]^a [B]^b \cdots$$

$$v_b = K_b \cdot [X]^x [Y]^y \cdots$$

式中 K_f，K_b 分別表變率常數（ *rate constant* ）。方括號表示該括號內物質的克分子濃度。在平衡時，正逆反應的速率相等，即 $v_f = v_b$，故

$$K_f / K_b = [X]^x [Y]^y \cdots / [A]^a [B]^b \cdots$$

$$= K$$

式中 K 爲此反應的平衡常數。

化學平衡的條件亦能以吉布士自由能的變化或赫爾姆霍茲自由能的變化加以描述。在定溫定壓下，當吉布士自由能有其極小值時（ $dG = 0$ ），或在定溫定容下，當赫爾姆霍茲自由能爲極小時達到平衡。

眞正的化學平衡，在理論上能從化學方程式的任一方得到，但由熱力學上的計算並不能決定達到平衡的速率。因而有些系統達到平衡的速率可能非常緩慢，故有所謂介穩平衡存在。除非對此閉合系統加以外界的干擾，系統不能很快的達到眞正的平衡狀態。

當系統在化學平衡時，其化學位相等。

【化學位】（ Chemical potential ）

在隔熱系統中，熱平衡的條件通常取系統的熵 S 爲極大的形式。但是在溫度和體積一定時，平衡條件就取自由能（赫爾姆霍茲函數）A 爲極小的形式，即

$A = U - TS =$ 極小值（ U：內能，T：絕對溫度）

又在溫度和壓力一定時，就取熱力學位（吉布士函數）G為極小的形式，即

$$G = A + PV \qquad (P：壓力，V：體積)$$

全系統分成幾種相而保持平衡時，若令某一物質在第 i 相的質量為 m_i，則由上列平衡條件可知：

$$\left(\frac{\partial A}{\partial m_i}\right)_{V,T} = \left(\frac{\partial G}{\partial m_i}\right)_{P,T} = \mu_i$$

在各相中均相等。量 μ_i 稱為第 i 相的化學位，分別就系統內物質的各成分而定義。

當兩系統在化學平衡時，其化學位相等，即 $\mu_1 = \mu_2$。而當兩系統未達平衡時，若 $\mu_1 > \mu_2$，則物質由第一個系統向第二個系統流動。

因此當溫度、壓力和各成分的摩爾數保持定值，物質 i 的化學位等於此系統中吉布士（Gibbs）自由能的改變率。

【化學抑制劑】（Chemical suppressor）

指某些化學品，如硼酸，置於反應器的冷卻劑中，藉著吸收中子，達到控制反應器的功用者。

【化學射線】（Chemical ray）

發自太陽之輻射線中，有能照於某種物質上（如照相之底片），而起化學作用者，是謂化學射線。化學射線為在可見光以外之輻射線，其折射率較各種單色光為大。以三稜鏡分散光時，化學射線折射而排列於光譜之紫色部以外，故又謂之紫外線。物體熱至白熱時，則發各種光，更熱之，則發化學射線。

【化學移動】（Chemical shift）

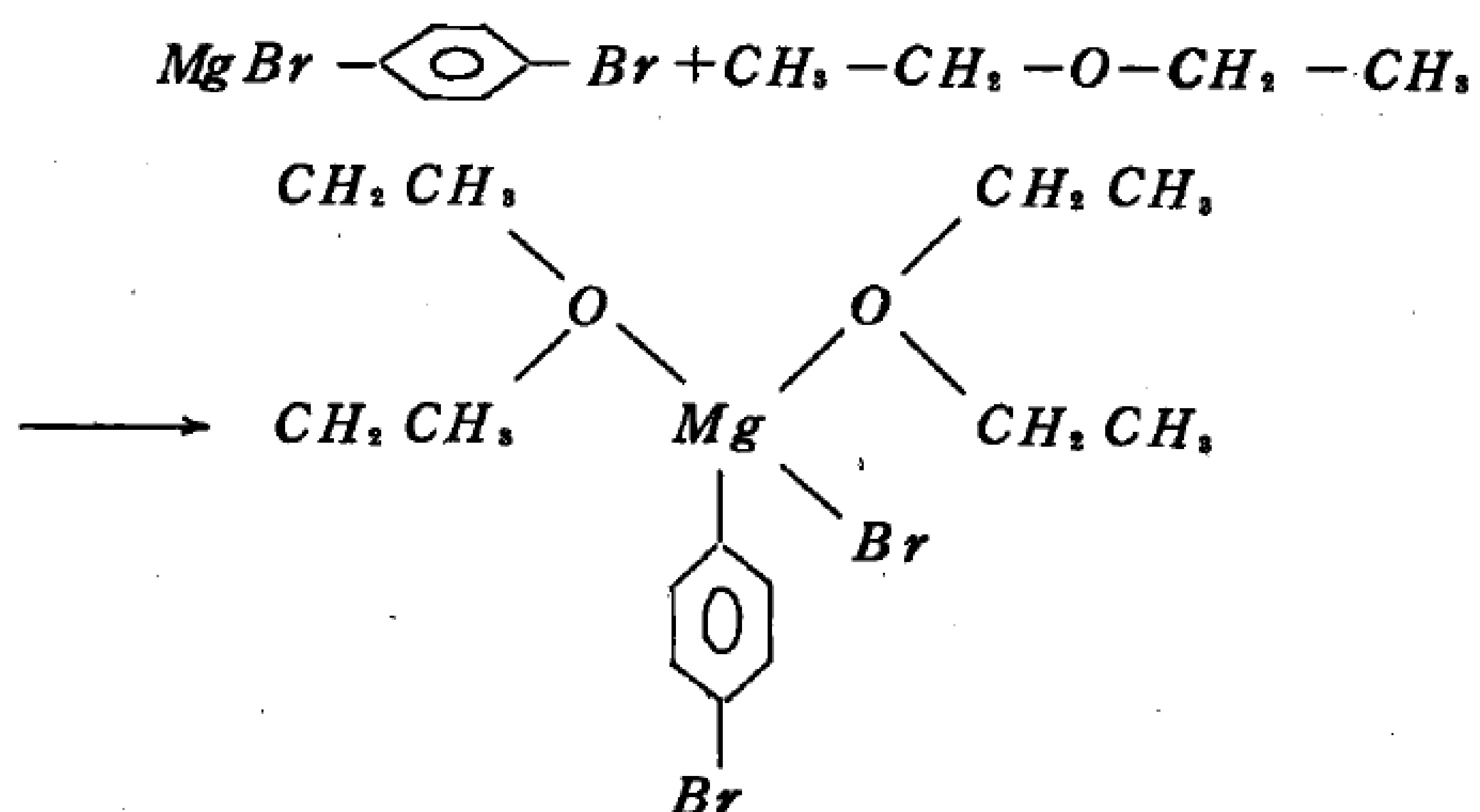
由於圍繞原子核之電子雲的抗磁屏蔽效應，使在核磁共振時之磁通量或者頻率發生的變化。

【化學液整流器】（Chemical rectifier）

化學液整流器，應用一種電解液，其作用實與汞弧相似。惟此電解液瓶中有二極，一爲鋁製、一爲鉛製；其電解液則爲磷酸銨之溶液。當交流電流經過此瓶時，鋁板上即發生氫氧化鋁之薄層，此薄層有種奇特之電阻性。即電流在電解液中，若由鋁至鉛時，則阻力甚大。反之，則阻力甚小。故電流僅能由鉛至鋁，由此可獲得整流作用，將交流變爲直流。

【化學發光】(Chemiluminescence)

化學發光是某類化學反應結果產生光的放射。例如



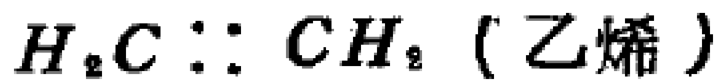
此反應於晝間與空氣接觸有藍綠光，肉眼可見。另外，於衰變中木材的氧化，包含有細菌、螢光素或黃磷，此種反應皆發出化學光。

【化學劑量計】(Chemical dosimeter)

一種利用輻射所引起之化學反應的程度來間接量度輻射劑量的偵檢器。

【化學鍵】(Chemical bonds)

吸引原子構成分子的主要作用稱爲化學鍵。在化學構造式中，化學鍵常以直線表示，例如乙烷中碳原子間的單鍵示爲H_3C-CH_3， 在乙烯中的雙鍵爲$H_2C=CH_2$。 爲表示鍵是由成對電子所構成，化學鍵有時亦可用點表示電子式如



化學鍵最重要有離子鍵、共價鍵及金屬鍵三種。離子鍵是一種原子的電子轉移到另一種原子上，兩種離子互相以靜電作用吸引而構成的。例如在食鹽中，氯及鈉各成負、正離子，以離子鍵構成晶體。所有的鹽類皆以離子鍵結合。生成共價鍵的兩原子在其間共用一對或數對電子，共同之電子可由兩原子分別供給或由其中一原子單獨供給，所有碳元素組成的有機化合物，均以共價鍵組合，如碳氫化合物，碳水化合物，醇、醚、醛、酮等化合物。在金屬鍵的情形，電子不僅由兩相鄰原子而是由極多的原子所共用，以致電子可在晶體中相當自由的運動，使金屬有導電、導熱性。

以上三種鍵爲原子間最重要的作用，此外原子間還有較弱的作用亦可稱爲化學鍵者，例如金屬離子與陰性基所生成之配位鍵，氫基與陰性基所成之氫鍵等是。

【化學變化】(Chemical change)

指物質本身組成已經改變而形成另一種不同組成的物質的變化。變化而成的新物質與原來物質在性質上截然不同。例如食物放在空氣中放久會變酸，而不能再食用。

【升】(Liter ; Litre)

體積的單位爲長度的立方數，故每邊長 1 厘米的立方體的體積爲 1 立方厘米。1,000 立方厘米的容積稱爲一升或一公升。

【升 - 大氣壓】(Liter-atmosphere)

功的單位，1 升 - 大氣壓 = 24.25 卡。

【升力】(Lift)

將如飛機機翼等薄板傾斜放在流體中，並使其運動，則薄板將受與進行方向垂直之力的作用，此力稱爲升力。因薄板將流體壓下，而給予向下的動量，故本身受反作用而向上。因此對薄板的進行方向的傾角 α

愈大，升力愈大。但α超過15°以上，則在板背面產生渦旋，升力反而減少，這種現象稱爲失速。設薄板的速度爲V，最大投影面積爲S，升力爲L，流體密度爲ρ，則

$$L=\frac{1}{2}\rho V^2 S C_L$$

式中C_L稱爲升力係數。α小時C_L略等於$m\sin\alpha$，理論上m等於2π，但實際上約爲5.5。

【升時間常數】(Time constant of rise)

脈衝波排除峯尖最大振幅26%至70.7%所需之時間。

【升壓器】(Step-up transformer)

次級線圈比初級線圈轉數較多之變壓器，故次級之輸出電壓比初級輸入者高。

【午拉士呑起偏器】(Wollaston polarizer)

午拉士呑起偏器，其特性乃是保有兩個折射光束而將之遠遠分開，因此可分開使用。它不但用作起偏器，也可以用作偏振光分離器(*polarizing beam-splitter*)，此種起偏器利用兩個方解石稜柱體，經切割後，使其光軸彼此垂直，然後接合在一起。

【午拉士呑稜鏡】(Wollaston prism)

如圖4—90 由二石英稜鏡接合而成，右稜鏡之光軸垂直於書頁，而左稜鏡之光軸平行於書頁，入射光垂直於表面，在左稜鏡中產生之普通射線及右稜鏡的特別射線沿相同之路徑，但速度卻不相同。

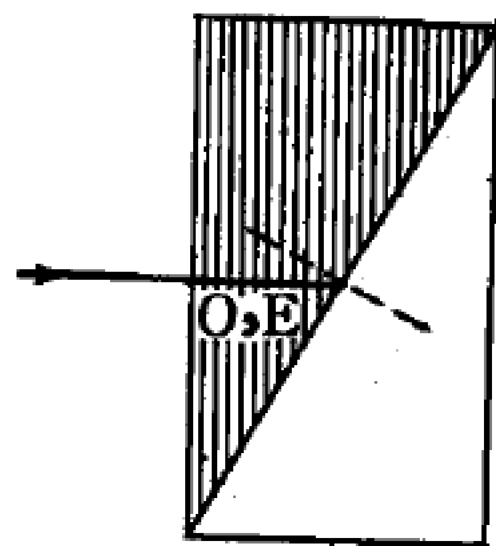


圖4—90

【厄司特】(Hans Christian Oersted 1777—1851)

丹麥物理學家兼化學家。1819年觀察到每當將羅盤靠近載有電流的導線時，羅盤磁針即擺動。發現在載有電流之各導體的周圍產生磁場

，因而奠定電磁學的基礎、又公認厄司特在 1825 年首先製得鋁，1850 年寫成"自然的本旨"（*Spirit of Nature*）一書。

由於他對於電磁學的貢獻，所以現均用其名厄司特（*Oersted*）爲 *C.G.S.* 制電磁系中量度磁場強度 H 之單位。眞空中某點的磁強等於單位磁極在該點所受力的達因數。*M.K.S.* 制的磁強單位是安培、匝/米（培、匝/米 $= 4\pi \times 10^{-3}$ 厄司特）。

【厄司特之實驗】（Oersted's experiment）

磁及電的現象，在古代即已爲人所知，不過其間的關係，直到1820年，才由丹麥哥本哈根大學的物理學教授厄司特（*Hans Christian Oersted*），在一次實驗中所發現。圖 4 — 91 乃用以說明厄司特之實驗之基本想法：吊在線上的條形磁鐵，或可自由運動的磁針 NS，其停

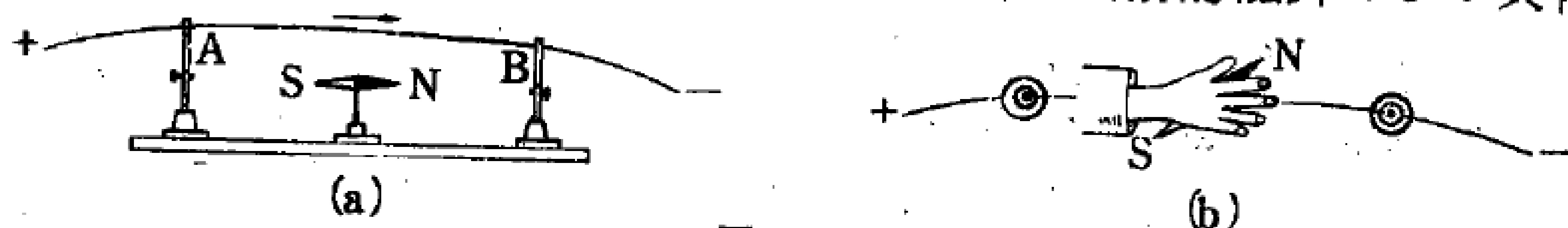


圖 4 — 91

止的方向與觀察者所在地的磁子午線相合，即其北極 N 差不多是指向北方。今在磁鐵上方或下方沿磁鐵的方向裝上導線 AB，通以電流；其電源可用蓄電池組，或城市直流電的插座。

首先需要知道插座或蓄電池組的兩個接頭正極與負極，係分別以正號（＋）及負號（－）表明。其次規定電流在導線中的流向恆由正極至負極。這本是一個謬誤的規定，因爲現代科學知識告訴我們，導線中電子的眞正流向與此恰好相反，不過由於工業上和日常生活上沿用已久，改了反不方便，所以我們只得將錯就錯，讀者只要在心目中有此觀念，當不致於淆亂不清。

現在且將電流接通，當立見奇蹟發生：磁針或條形磁鐵不特偏離磁子午線，且幾與導線直交。當電線在磁針下面，電流由 A 通至 B 時，圖中磁針的北極 N 即轉向讀者，亦即轉出圖 4 — 91 圖面的前方。如電流

以相反的方向，即自B流向A時，則其北極N將遠離讀者，即轉入紙面的後方。電流一經中斷，這種偏向便立即消失。如將磁針與導線間之距離加大，則此作用即迅速減弱。

如電流方向逆轉，則磁鐵之偏向亦隨之逆轉。今若令電流改從磁鐵的上方流過，磁鐵也會馬上反轉過來，換言之，在磁鐵上方，由A流向B的電流，其作用和在磁鐵下方由B流向A者完全一樣。這種現象也可以實驗來證明。圖4—91的(a)和(b)，就是表示前述的第一種情形。

茲得結論如下：電流會在其周圍發生磁的作用；換言之，即電流會在其周圍產生一個磁場，且磁場方向恆垂直於電流方向。

【厄瓦特結構】(Ewald construction)

由布勒格定律 $2d\sin\theta = n\lambda$ ，可以得到一重要的結果。在布勒格反射中，入射波與反射波的波向量設各為$\vec{k}$、$\vec{k}'$。$\vec{k}$和$\vec{k}'$與晶格面的夾角都是θ，在彈性繞射中$|\vec{k}| = |\vec{k}'|$。$\vec{k}$與$\vec{k}'$的夾角則是2θ

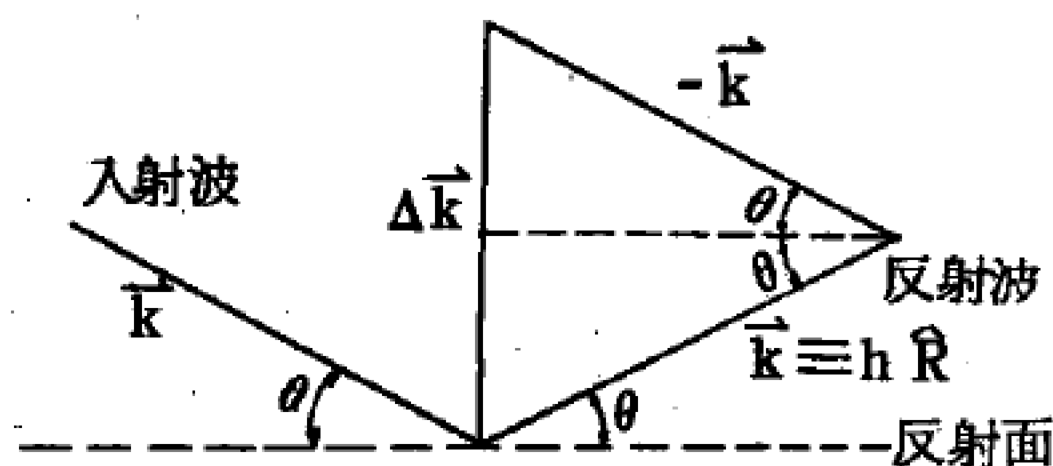


圖 4 — 92

$$\vec{k} + \Delta\vec{k} = \vec{k}'$$

由圖4—92 $\quad |\Delta\vec{k}| = 2\vec{k}\ \sin\theta \qquad (1)$

利用布勒格定律 $\quad 2d\ \sin\theta = n\lambda$

即得 $\quad |\Delta\vec{k}| = \dfrac{2\pi}{d}n$

茲考慮任意一反商晶格向量$\vec{g}$與一晶格向量$\vec{l}$，由定義：

$$\vec{g}\cdot\vec{l} = 2\pi N \qquad (2)$$

N為整數，令$\vec{l}$連結位於相鄰平面的晶格點，當$\vec{g}$與晶格平面垂直時，$\vec{l}$在$\vec{g}$方向的投影便是相鄰兩平面的距離d。從(2)式得

$$|\vec{g}|\,d = 2\pi N$$

N爲正整數。即

$$|\vec{g}| = 2\pi N / d$$

與（ 1 ）式比較：

$$|\Delta\vec{k}| = |\vec{g}|$$

故得

$$\vec{k}' - \vec{k} = \vec{g} \qquad (3)$$

厄瓦特結構是應用（ 3 ）式將布勒格定律就幾何上的考慮，當欲知對於一波向量爲$\vec{k}$的入射波，是否會產生相長性干涉時，厄瓦特結構提供簡便的方法。如圖 4 — 93，表示一反商晶格空間，點線表反商點陣。$\vec{k}$在反商晶格空間表一向量，將$\vec{k}$的箭號與一點線重疊，以另一端爲圓心，$|\vec{k}|$爲半徑作圓，如果這圓通過另外一點線，表示會產生相長性干涉的反射。因爲若$\vec{k}'$爲圓心至第二個點線的向量，則

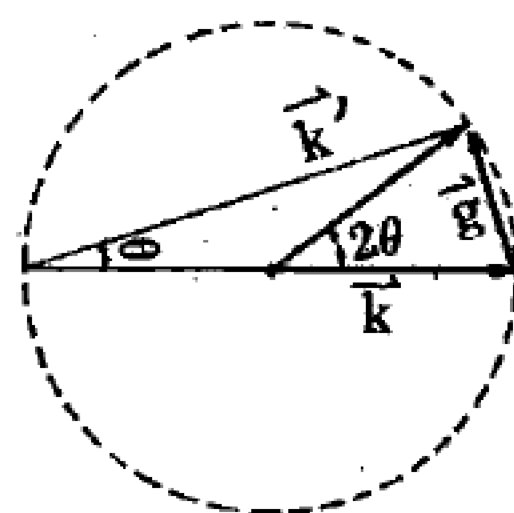


圖 4 — 93

$$|\vec{k}'| = |\vec{k}|$$

且
$$\vec{k}' - \vec{k} = \vec{g}$$

故$\vec{k}'$必爲反射波的波向量。

【厄米特多項式】（ Hermite polynomial ）

在解諧振體的問題中，將一維問題的薛丁格方程式

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2}{dx^2}U_n(x) + \frac{1}{2}kx^2U_n(x) = E_nU_n(x)$$

令 $U_n(x) = N_n e^{-\frac{1}{2}y^2} H_n(y)$

代入上式，則得到厄米特方程式

$$H_n''(y) - 2yH_n'(y) + 2nH_n(y) = 0 \quad (\lambda = 2n+1)$$

式中$H_n(y)$爲厄米特多項式。欲求其解，可利用母函數

$$G(y,t)=e^{-t^2+2ty}=\sum_{n=0}^{\infty}\frac{1}{n!}H_n(y)t^n$$

兩端對 t 及 y 微分，可得：

$$H_n' = 2nH_{n-1}$$

$$H_{n+1} = 2yH_n - 2nH_{n-1}$$

由此二方程式，可以導出厄米特微分方程式。以下是厄米特多項式的各種常用的形式：

$$H_n(y)=(-1)^n e^{y^2}\left(\frac{d^n}{dy^n}e^{-y^2}\right),\quad n=0,1,\cdots\cdots\infty$$

$$H_n(y)=\begin{cases}(-1)^p\dfrac{(2p)!}{p!}F\left(-p,\dfrac{1}{2},y^2\right), & n=2p\\[2ex](-1)^p\dfrac{(2p+1)!}{p!}yF\left(-p,\dfrac{3}{2},y^2\right), & n=2p+1\end{cases}$$

一些厄米特多項式

n	$H_n(y)$	α_n	E_n
0	1	1	$1/2\ h\nu$
1	$2y$	3	$3/2\ h\nu$
2	$4y^2-2$	5	$5/2\ h\nu$
3	$8y^3-12y$	7	$7/2\ h\nu$
4	$16y^4-48y^2+12$	9	$9/2\ h\nu$
5	$32y^5-160y^3+120y$	11	$11/2\ h\nu$

其中 $\alpha_n=\dfrac{2E}{h\nu}=2n+1$

【厄米特矩陣】(Hermitian matrix)

將一矩陣A的行與列互換，並取各矩陣元素的共軛複數，得一新矩陣，稱爲厄米特共軛，以A^+表示之。此厄米特共軛有$(AB)^+=B^+A^+$的性質。若一矩陣H，其厄米特共軛矩陣H^+等於本身H，即$H^+=H$，則矩陣H稱爲厄米特矩陣。以h_{ij}表其矩陣元素，則厄米特矩陣的性質是

$$h_{ij}=h_{ji}^*$$

例如

$$\begin{pmatrix} 1 & -i \\ i & 1 \end{pmatrix}$$

爲厄米特矩陣。由定義得知，厄米特矩陣的對角線上各元素必爲實數。通常厄米特矩陣並不對稱，除非所有元素均爲實數。厄米特矩陣的特殊性質是其本徵值一定是實數。

在物理系統中，其可觀察的物理量（例如坐標、動量、能量等等），在量子力學中可視爲一算符，此算符有對應的本徵向量和本徵值，算符所對應的本徵向量代表物理系統的狀態，物理量度的結果就是本徵值。因此，如用矩陣表示算符，則一定是厄米特矩陣，因爲厄米特矩陣的本徵值爲實數，所以也是可觀察的量。

【厄米特算符】（Hermitian operator）

設ψ_a與ψ_b爲向量空間中任意二向量，其純量積爲已知，且爲歸一正交之二向量，即

$$(\psi_a,\psi_b)=0$$

$$(\psi_a,\psi_a)=(\psi_b,\psi_b)=1$$

算符Q具有下列條件者稱爲厄米特算符：

$$(\psi_a,Q\psi_b)=(Q\psi_a,\psi_b)$$

算符Q的厄米特伴算符Q^+定義如下：

$$(\psi_a,Q^+\psi_b)\equiv(Q\psi_a,\psi_b)$$

所以，若Q爲厄米特算符，則

$$Q^{+}=Q$$

亦即對任一運算子A有$(A^{+})^{*}=A$的性質者。以上定義之厄米特算符，若以矩陣表示時，就是將算符矩陣的行與列對調後各元素再取共軛複數時，仍然等於原來的矩陣。以狄悅克的表示法，則當

$$\langle m|Q|n\rangle=\langle n|Q|m\rangle^{*}$$

時，稱Q為厄米特算符。亦即對矩陣元素有$A_{ij}=A_{ji}^{*}$的特性者。

在量子力學中，任何物理可觀察變數，假設可對應於某厄米特算符，所以在量子力學中厄米特算符的性質很重要。主要的性質為：

1. Q是線型算符。且任何一算符，可分為厄米特算符和反厄米特算符之和，即

$$A=\frac{A+A^{+}}{2}+\frac{A-A^{+}}{2}$$

其中$(A+A^{+})/2$為厄米特算符，$(A-A^{+})/2$為反厄米特算符。

2. Q的本徵值都是實數。設本徵值方程式為

$$Q\psi_a=q_a\psi_a$$

則

$$(\psi_a,Q\psi_a)=q_a$$

$$(Q\psi_a,\psi_a)=q_a^{*}$$

因Q為厄米特算符，所以上兩式相等，即

$$q_a=q_a^{*}$$

因此q_a必是實數。因為本徵值是實數，所以是可觀察量。

3. 與Q對應的兩本徵函數，若其本徵值不相同，則這兩本徵函數正交。

【厄特弗方程式】(Eötvös equation)

液體之摩爾表面能隨溫度變化的改變率方程式為

$$K=-\frac{d\left[\nu(MV^{2})^{\frac{2}{3}}\right]}{dT}$$

其中ν為表面張力，V是比容值，M是分子量，T是絕對溫度，K是一常數。

【厄特弗屏蔽變態方程式】(Ramsay and shields modification of Eötvös equation)

不很靠近臨界溫度 t_c 時，摩爾表面能以方程式

$$\nu\ (MV)^{\frac{2}{3}} = K\,(\ t_c - t - 6^\circ\ )$$

表之，其中ν為表面張力，V是比容值，M是分子量，K是一常數。

【厄特弗實驗】(Eötvös experiment)

牛頓運動定律的慣性質量和重力定律的重力質量在物理上的意義不同，因為這兩種質量來自不同的定義，因此對於所有物體，這兩種質量是否相同，有特別重要的意義。如果相同，則加速度場與重力場就無法區別。1890 年厄特弗對這問題作實驗求證，結果發現在實驗的準確度內，重力質量和慣性質量相等。這證實馬赫原理 (*Mach principle*)，愛因斯坦因此能提出等效原理 (*equivalence principle*)，而創立廣義相對論。

厄特弗實驗的裝置與步驟簡述如下：考慮在地球表面上的物體，因為此物體受到重力作用G和地球轉動的離心力 (慣性力) I的影響，所以這兩力大小的比，相當於重力質量與慣性質量的比。厄特弗在赤道與北極間的中途，以二物體懸掛於扭秤上量度這兩種質量所生力矩的平衡狀況。設此物體的重力質量為M_1，慣性質量為m_1，$\vec{i}_r$ 為地心至物體的單位向量，$\vec{i}_m$ 為垂直地球自轉軸的單位向量，若$\vec{g}_e$為重力場大小，則作用於此物體的重力大小為

$$\vec{G}_1 = g_e M_1 \vec{i}_r$$

設地球半徑為a，轉動角速度為ω，ϕ為緯度，則慣性離心力為

$$\vec{I}_1 = (\ m_1 a \omega^2 \cos\phi\ )\ \vec{i}_m$$

設第二物體的重力質量爲M_2，慣性質量爲m_2，利用扭秤，設$\vec{b}$表示秤上平臂的向量，則此時天秤所受到的總力矩爲

$$\vec{T}=\frac{\vec{b}}{2}\times(\vec{G}_1-\vec{G}_2)+\frac{\vec{b}}{2}(\vec{I}_1-\vec{I}_2)$$

四力的合力F在懸線方向

$$\vec{F}=\vec{G}_1+\vec{G}_2+\vec{I}_1+\vec{I}_2$$

轉矩在懸線方向的分量可造成明顯的轉動，其有效轉矩爲

$$T_{11}=\frac{\vec{F}\cdot\vec{T}}{|\vec{F}|}$$

$$\approx\frac{(g_e(M_1+M_2)\vec{i}_r+a\omega^2\cos\phi(m_1+m_2)\vec{i}_m)\cdot\vec{b}\times(\vec{G}_1-\vec{G}_2+\vec{I}_1-\vec{I}_2)}{2g_e(M_1+M_2)}$$

式中免計分母中的慣性離心力。令$\alpha_1=M_1/m_1$，$\alpha_2=M_2/m_2$，則上式變爲

$$T_{11}\approx\frac{a\omega^2\cos\phi\, m_1m_2(\alpha_1-\alpha_2)(\vec{b}\cdot\vec{i}_r\times\vec{i}_m)}{\alpha_1m_1+\alpha_2m_2}$$

若$\alpha_1=\alpha_2$，則由上式可知有效力矩爲零；若$\alpha_1\neq\alpha_2$，則有轉動。厄特弗發現未曾轉動，其誤差當在10^8分之一以下。因此證實慣性質量與扭秤重力質量相同。

【厄得爾法】(Adair method)

又稱厄得爾分析(*Adair analysis*)，1955年厄得爾所發明由實驗決定超子或共振態粒子的自旋的方法。此法比較超子的產生及其衰變而決定它的自旋，例如觀測

$$\pi+p\rightarrow K+$$

$$\Lambda\rightarrow\pi+p$$

求出Λ超子的自旋爲1/2。厄得爾法乃取在入射粒子方向產生的超子或共振態粒子觀察其衰變的角分佈。詳細分析顯示其自旋與其衰變角分

佈有一一對應的關係。例如最低幾種自旋與角分佈的關係如下表：

S	角分佈
$\frac{1}{2}$	均勻
$\frac{3}{2}$	$1+3\cos^2\theta$
$\frac{5}{2}$	$1-2\cos^2\theta+5\cos^4\theta$

表中S代表待決定的自旋，θ為在超子或共振粒子質量中心系統中量度衰變時所產生的粒子與入射粒子之間的夾角。

【反日】(Anthelion)

在距離太陽方位角 180° 之幻日環上偶而出現之光點，係由於幻日環與反日弧 (*anthelicarcs*) 相交， 二者光亮相重疊加強而成，因此反日實為一種光之反射現象。

【反日冕】(Anticorona)

一種繞射現象 (*diffraction*)，與日冕 (*corona*) 頗相似，而實為相補之部分，出現於與觀測員至日或月直接相反之點，即在觀測員之人影所投落之處。故觀測反日冕時，必須立於較雲堤或霧堤為高之地點，如山巔或飛行於雲層上之飛機。

反日冕光環現象，係屬日冕環之補充部分，自反日冕之中心光亮最弱，而在日冕之中心則光亮最強。至於反日冕之另一最弱光亮點，係與日冕之最強光亮點在同一角度之地位出現。反日冕究係由水滴內部之反射後再由反射波向前繞射而成，抑或由簡單之反迴繞射而成，則尚未確悉；惟近年來之學理分析傾向於後者。

【反厄米特算符】(Anti-Hermitian operator)

若 $|a>$ 及 $|b>$ 表二函數，算符A的伴算符 A^+ 即定義為

$$< a \mid A^{+} \mid b > = < b \mid A \mid a >^{*}$$

此式與下述積分式同義

$$\int \psi_a^* A^{+} \psi_b d^3x = (\int \psi_b^* A \psi_a d^3x)$$

式中星號 * 表複數共軛。當

$$A^{+} = A$$

時，算符 A 成厄米特；若

$$A^{+} = -A$$

則算符 A 成反厄米特，而 A 卽稱反厄米特算符。

【反平方力】(Inverse square force)

庫倫定律之形式與重力定律相似，力的大小都是與距離的平方成反比。凡具有此等反比關係的力，統稱爲反平方力。

【反司托克士拉曼線】(Anti-Stokes Raman lines)

拉曼光譜中較強的譜線頻率皆低於入射光的頻率，稱爲司托克士拉曼譜線。但亦有少數譜線出現的頻率較入射光爲高者稱爲反司托克士拉曼譜線，此等譜線出現的原因乃是分子在常溫時有少部分可依波茲曼分配律位於振動能較高的能階上，經拉曼散射過程後返回能量較低的基態，故散射之光子的能量較入射光爲高。

【反向火箭】(Retrorocket)

又名倒退火箭。火箭航具之火箭筒身與圓錐鼻位置對換其指向。當其發火時乃獲得直接後退之推力，以達到使航具減速之目的。

【反向電流】(Reverse current)

此乃相對於線路中，原電流之方向而言，如變壓器次級圈的電流必與初級圈電流反向，相差 180°。

【反尖晶石排列】(Inverse spinel arrangement)

某種礦物，其晶體結構的排列是由三價的金屬離子佔據四邊體的晶格點，而由一半的二價金屬離子和一半的三價金屬離子佔據八面體的晶

格點，則這種排列的晶體構成稱爲反尖晶石排列，見圖4—94。

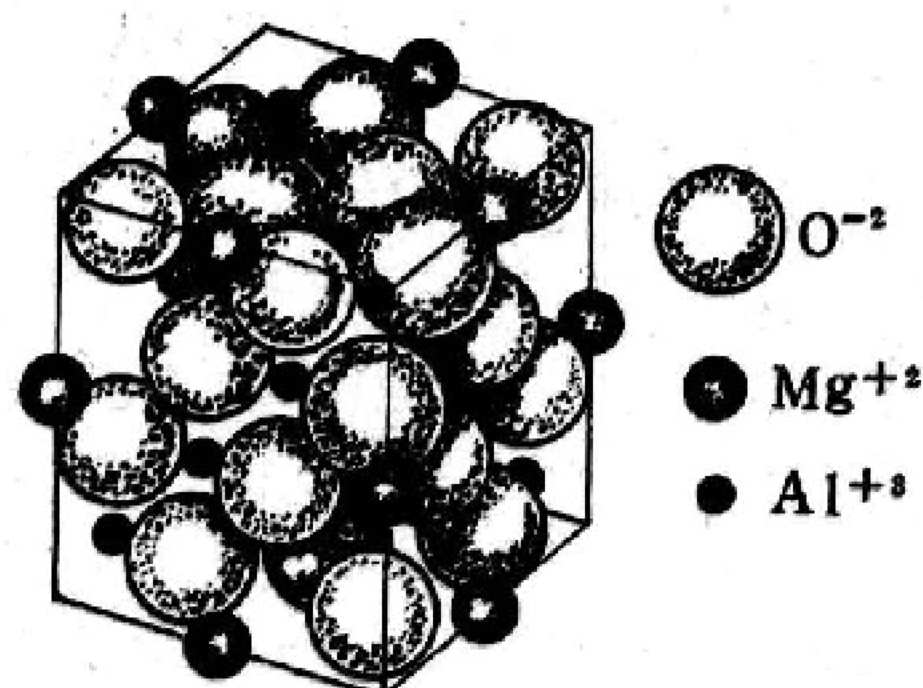


圖4—94

【反光直角鏡】(Reflecting square)

所謂反光直角鏡，是指野外用以標定直角之儀器。圖4—95 表示此鏡之作用方式。二鏡 S_1 及 S_2 以45°相交，入射光線被兩鏡連續反射後，脫離鏡角射出時之方向垂直入射線之方向，亦即 $\overrightarrow{BC} \perp \overrightarrow{F_1A}$。其幾何原理極易明瞭，根據反射定律，$\alpha$與$\beta$兩角、$\gamma$與$\delta$兩角彼此相等，且$\angle 1=\angle 2$；$\angle 3=\angle 4$。

由△ABK內角和定理知 $\angle 1+\angle 3=135°$

而$\angle DBA+\angle DAB=360°-(\angle 3+\angle 4)-(\angle 1+\angle 2)$

$=360°-2(\angle 1+\angle 3)$

$=90°$

故△BAD中，$\angle BDA=90°=\angle F_1DC$

直角定線之方法如下：在野外先插上塗有紅白或黑白油漆之標桿F_1，使之直立於地面；然後用反光直角鏡觀測，則桿上油漆所發之光便被S_1及S_2二鏡先後反射。光線所經途程如F_1、A、B及C各點所示。循$\overrightarrow{CB}$方向之觀測者，可於S_2鏡內看到F_1之像。此時入射光線$\overrightarrow{F_1A}$垂直於反

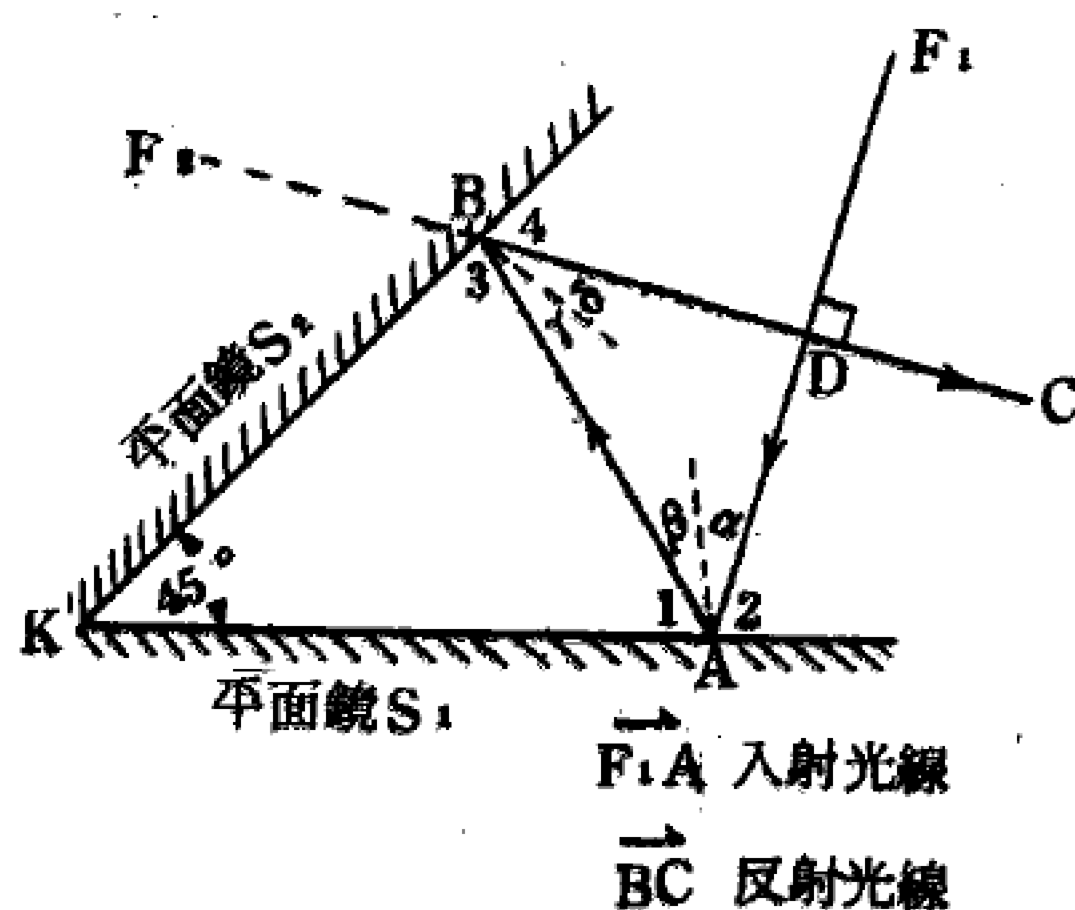


圖4—95 反光直角鏡之作用

射光線$\overrightarrow{BC}$，因此亦垂直於觀測方向$\overleftrightarrow{CB}$。觀測者可用叫喊或以手示意，令助手樹立第二標桿F_2，但F_2樹立的方位，必須使超越S_2鏡看去的觀測者，恰好能循第一標桿F_1的像所在之方向看到第二標桿F_2；亦即第二標桿F_2看起來應剛好位於第一標桿F_1的像之上方。在此情形下，$\overleftrightarrow{F_1A}$及$\overleftrightarrow{F_2C}$二方向遂互成垂直。

【反光望遠鏡】(Reflecting telescope)

詳閱“天文望遠鏡（*Astronomical telescope*）”條。

【反作用】(Reaction)

按照牛頓第三運動定律，當施力於物體時，則恆有一相等而方向相反的力回應，即是反作用。所施之力稱為作用，對負載的機械系統的支撐物或軸承所施之力，就是反作用。作用與反作用相伴而生，二系統相互施力，但不是施於同一系統，故不能相互抵銷。

【反作用定律】(Law of reaction)

凡甲物體施力於乙物體時，則乙物體必還力施於甲物體，前者叫做作用（*action*），後者叫做反作用（*reaction*）。此兩力同時發生，大小相等，方向相反，是為反作用定律。

如圖4－96 人用手划槳，槳即推水。對此的反作用，即水也推槳。因槳被水推，所以船就向前進。

圖4－96　小船前進的原因

反作用定律又稱為牛頓第三運動定律，常被應用於動力中。

【反貝他衰變】(Inverse beta decay)

在一般狀況下中子是不穩定的，它衰變而成質子：

中子→質子＋電子＋反微中子

半衰期只有十三分鐘。當然原則上質子也能變做中子：

質子→中子＋正電子＋微中子

此即爲質子化爲中子的反貝他衰變。但是因爲中子比質子能量高 1.3 MeV，電子的能量是 0.5MeV，所以在日常情形下只有中子衰變成質子，放出的電子動能最高可達 $1.3 - 0.5 = 0.8 MeV$。

【反物質】(Antimatter)

二十世紀初的一個物理發現使得一些哲學家和宇宙學家深感不安，他們原來相信大自然是一致對稱的，但是物理學家卻發現含有單位正電量的基本粒子是質子，它的質量1,840倍於帶著單位負電量的基本粒子電子。爲什麼同樣電量的正負電和如此不同質量的粒子結合在一起？在想像中，同量而異性的電荷應該和同重而異質的粒子結合在一起。

然“對稱”的擁護者終獲最後勝利，狄悅克（*P.A. M. Dirac*）首先從理論上預測負電子應該有一個同樣質量的反粒子，到了1932 年，這顆反粒子（即正電子）終於在實驗室裏找到。此後一連串成功而昂貴的實驗找出了一大堆反粒子，在電子和質子間所有基本粒子的反粒子都一個個從巨大的加速器裏被打出來，如今粒子和反粒子間的對稱律已成爲物理學裏最基本的原理了。

有了反粒子自然也就有反原子。一個反質子和正電子合起來就形成一個反氫原子，根據量子力學，這個反氫原子的性質和普通的氫原子幾乎完全一樣，例如他們發出來電磁波的波長就和氫原子的並無二致。反氫原子和反氫原子合起來成爲反氫分子，這些反氫分子組成的氣體性質亦同於普通的氫氣，到了攝氏零下252 度就化爲液體。

重元素也同樣可由反粒子組成，以反氧爲例：它的原子核包含八個反質子和八個反中子，圍繞著原子核轉的是八個正電子。這樣一直到最重的反鈾爲止所有的反元素可以形成一個反世界。

【反物質和宇宙論】(Antimatter and cosmology)

高能物理中的實驗，已證明出粒子與反粒子間之完全對稱性；而一

種詳述基本對稱性的新宇宙理論，正在全力提倡中。

我們如何解釋宇宙的對稱性？反物質的發現已極度的驚擾了所有的物理學家、天文學家、宇宙學家與哲學家們。宇宙中沒有任何系統能具有半物質及半反物質的特性；因爲，此二種物質相遇則同時毀滅，甚至我們所假設的二大系統（宇宙與反宇宙）能如何避免相遇及互趨於毀滅呢？宇宙進化的方式及產生兩種物質的原因又爲何呢？

在過去數世紀中，天文學與實驗物理學形成一密不可分的整體；實驗室中物質結構的顯微研究，證實了宇宙結構的研究。牛頓對於運動與萬有引力定律的探討，導致太陽系與行星運動的正確描述；然而，光譜學的發展，更使得天文學家們發現了各星球的化學組成及其物理狀態。物理學家們勘探核子反應，進而揭露出星球產生鉅大能量的作用；它清晰而詳盡地說明了星球內部“熱核子反應器”工作的實況。

【宇宙的對稱性】

本世紀初，物理學家們導出一新發現，此新發現使得深信自然界循一宇宙對稱性而變遷的哲學家及宇宙學家們的信念爲之大大的動搖。物理學家發現，事實上單位的負電荷併合於電子之中，單位正電荷負載於質子（一種較電子重1,840倍的粒子）之上，哲學家們懷疑：爲什麼正負電荷以不同的質量相接合？是否可認爲等量而相反的電荷代表等量而相反的粒子？

對稱性的擁護者獲得最後的證明，物理學家狄悅克（*P. A. M. Dirac*）基於數學的根據，預知必具有相反電荷而同質量的粒子存在，並於實驗室中測出正子的存在；經過漫長，昂貴而成功的反粒子研究過程，利用鉅大的加速器製出了反質子；而在介於電子與質子間的區域，發現了一種具有正負二電荷的粒子。如今，粒子間的對稱性，已成爲物理學中最基本的原理之一。

有反粒子，自然隨之而生反原子。一個反質子與一個正子的結合體

形成一反氫原子，量子力學中更推測出，反氫原子幾乎完全具有普通氫原子特性；例如，反氫原子就輻射出等波長的光線。反氫原子依次聚合而形成反氫分子，而組成與普通氫共具標準性質的氣體。

同理，反粒子亦能構成其他所有較重的元素。例如，反氧原子就由含有八個反中子及質子所構成的原子核，及繞於核外的八顆正子所組成。由反氫、反鈾的所有反元素形成"反世界"(*antiworld*)並產生"反生命"(*antilife*)。

【加速器的發展】

吾人可確認，加速器技術的突飛猛進，使得由反粒子製造複雜的反物質成爲可能。數年前，布洛克海文國立實驗室的物理學家們，以一顆反質子及反中子聚合而形成反重氫，布洛克海文實驗室的成就，使得一些物理學家們感到滿意，但並不驚訝。

對於宇宙理論感興趣的學者，自然很嚴肅地驗證反物質在宇宙間存在的可能性。克蘭以二基本前提來解答此問題：宇宙由等量的物質及反物質所構成；並受已知物理定律所主宰。此即說明，宇宙的現象並不需以任何新的自然定律加以論定。

首先人們必定久懸於心的老問題，就是宇宙進化的問題。很明顯地，如果反物質存於大宇宙中，則歷史上流傳至今的宇宙理論——霹靂說("*Big Banga* "*Theory*)及永恆說("*Steady State* "*Theory*)——必早已束諸高閣了。霹靂說認爲宇宙有一起源"以冷"(*ylem*)或由吾人所熟知的普通物質以極大的密度聚集而成。如果起源的原子核中含有反物質與物質，則其本身必趨毀滅，而發出霹靂巨炸。至於永恆說則基於物質不斷生成的觀念，此理論亦同樣否定了反物質的存在。

【克蘭創雲塵說】

克蘭的理論認爲，在混沌初生時期，宇宙係由無窮大稀薄的雲塵及氣體所構成；甚至或由一羣帶電粒子的電漿(*plasma*)所構成，吾人

稱之爲雙電漿，因其中含有粒子及反粒子之故。這些粒子可能僅爲質子與反質子，然而原始雲塵中亦必含有電子及正子，我們也不能輕易地說明雙電漿雲是如何生成的。吾人僅能簡單地假說此雲塵的存在，以求證此雲塵藉萬有引力的作用，而使所有的星球緩慢地互相吸引；爲使立論簡化起見，克蘭假設此雲塵呈圓球形，且所有粒子均以同一密度均勻地散佈於其間，此雲塵的半徑約爲一兆光年，而粒子分佈的密度絕不超過每百萬立方米一顆之數。

實際上，均勻分佈的粒子及反粒子決不互相衝撞，縱使此雲塵收縮成半徑大於十億光年的圓球體，各粒子間仍是相距遙遠，但是質子與反質子若發生碰撞，則互趨毀滅而放出大量的輻射能。宇宙的收縮使得粒子碰撞頻繁；而逐漸增強其輻射壓力，當雲塵的半徑縮至十億光年以內時，粒子與反粒子因共同毀滅所放出的輻射能非常鉅大，以致脫離了萬有引力的吸引；此時，雲塵及凝縮於其中的銀河系開始向四周膨脹，結果即成爲吾人望遠鏡所觀測到的膨脹宇宙。

【一百億銀河系】

克蘭稱吾人所生存的宇宙爲總宇宙（*metagalaxy*），其中包括所有已爲望遠鏡所探測到的銀河系，無疑的也包括其他許多尚未發現的銀河系。依據霹靂說之理論，可能由爲數一百億個銀河系構成整個宇宙。克蘭也認爲，除了吾人生存的宇宙外，極可能有其他宇宙的存在。

以天文學而言，所有的理論使得吾人確信，事實上反世界爲吾人鄰居的可能性；夜間，在星光閃爍的銀海中，吾人如何能指出那些星球是由物質或反物質所構成？一反物質與一相當的物質恰具有相同的光譜；因此，吾人無法輕易地論定離吾人銀河系最近的仙女星雲，或甚至吾人銀河系中的某些星球爲反物質所構成。

難道沒有任何可能的方法，來探測存在於吾人世界外的反物質嗎？吾人可藉著雙電漿層中某些特殊的放射能源，而探測出太空中反物質的

存在；物質與反物質就在放射能源處相遇而毀滅。然而，粒子與反粒子碰撞毀滅後，磁化雙電漿層中能量的變化又如何呢？

【無線電波輻射】

質子與反質子碰撞後互相毀滅，經過一序列複雜而急遽的衰變過程後，生成一羣介子（*meson*）。碰撞後的百萬分之一秒內，原來的介子最後轉變而成荷鉅大能量的γ射線、微中子、一或二顆電子及正子。質子與反質子的總靜質能量，約為1,800百萬電子伏，於轉變過程中，總能量的半數轉為微中子的輻射能，γ射線中蓄有總能量的四分之一，僅餘的四分之一能量完全轉變而成電子及正子所荷的大部分動能。強力的電子及正子在雙電漿的磁場中作螺旋形運動，放射出無線電波即所謂的同步輻射；因此，此類粒子的大半動能完全轉變為無線電波輻射。無線電波透過地球大氣層，而能為巨大的無線電波望遠鏡的天線所收取。

因此，無線電波望遠鏡成為探測太空中雙電漿層存在與否的最佳儀器，並能錄取放射能源無線電波星的位置，以解釋神秘而發出鉅大無線電波能似星體（*quasar*）。此類星體極可能即為太空中，因物質與反物質的毀滅，而生出的星體狀無線電波體。

【反相】（**Anti-phase**）

兩個相位相差180°，是異相之一種。

參閱"異相（*Out of phase*）"條。

【反重力】（**Antigravity**）

如果我們能夠遮蔽電力和磁力，為什麼就不能遮蔽重力？要回答這個問題，必須先考慮遮蔽電力和磁力的機械作用。在任何一塊物質中，每一個原子和分子都是一個由正負電荷所組成的系統；在導電金屬中，有很多的自由電子在正電離子的晶格中自由的運動。當一塊金屬放在一個電場中時，自由電子將會跑到金屬的一端，使此端帶負電，而另一端由於只剩下帶正電的離子，將會帶正電。這種極化的現象會在這塊物質

內產生一個新的電場，其方向和原有的電場方向相反，於是二者互相抵銷。同樣地，磁力遮蔽是由於帶磁物質的原子都是一塊小磁鐵，彼此南北極串聯排列起來造成一個與外在磁場方向相反的新的磁場，而互相抵銷。在這兒遮蔽的作用也是由於原子質點的極化所產生的。

重力極化，也許能使遮蔽重力的構想成爲可能，但它需要物質由兩種粒子所構成：一種具有正重力質量，能被地球所吸引；另一種具有負重力質量，能爲地球所排斥。正負二種電荷以及南北兩種磁極，在自然界中的含量都相當豐富；但具有負重力質量的粒子至今卻尚未發現，至少在普通的原子和分子的構造中仍未被人找出。因此普通的物質不能使它產生重力極化的現象，也就無法使它能夠遮蔽重力的作用了。

然而，確實有另外一種稱爲“反物質”的物質存在於自然界中。在許多方面，包括電和磁的性質，它們表現出和普通物質正好相反的特性；也許反粒子會具有負的質量也說不定，這問題初看似乎很容易用實驗來回答，我們只要看一束水平前進的反中子，譬如說，從一具加速器中射出；然後，觀察這束粒子在地球的重力場中到底是向上或向下彎曲。但事實上這樣的實驗是無法做到的。因爲從加速器所產生的粒子其速度幾乎接近光速，在它水平前進1公里的距離內，由於重力所造成的向上或向下的彎曲，僅僅是10^{-13}厘米而已，相當於原子核的直徑！我們也沒有辦法像減速中子一樣，利用一塊減速器，使反中子和它的原子核碰撞而將這些反中子緩慢下來，因爲當反粒子與粒子相碰時將會消失！因此從實驗的觀點來看，反粒子的重力質量到底是正或負仍是一個無法解決的問題。

從理論的觀點來看，這個問題也是懸而不決，因爲我們還沒有一種理論能夠預言重力與電磁作用的關係。如果未來的實驗能夠證明反粒子具有負的重力質量，那麼它將推翻對等原理，而予愛因斯坦整個的重力相對論一個致命的打擊。一個“反蘋果”在眞的重力場中會“往上掉”

，但在愛因斯坦的加速太空船中卻不會如此；因爲如果它在船內也往上掉，那麼對船外的觀察者而言，他將看到這個反蘋果，在沒有外力的作用下，竟會以兩倍於太空船的加速度而運動！因此反重力的發現將會迫使我們在牛頓的慣性定律和愛因斯坦的對等原理中作一重大的抉擇。這的確是個很難的選擇。

【反重氫】(Heavy antihydrogen)

1965 年布洛克海文國家實驗室的工作人員，首度找到了反重氫的原子核，其構造如圖 4－97， 由帶負電的反質子（大黑點）、帶正電的正電子（小黑點）和不帶電的反中子（白色圈）組成。

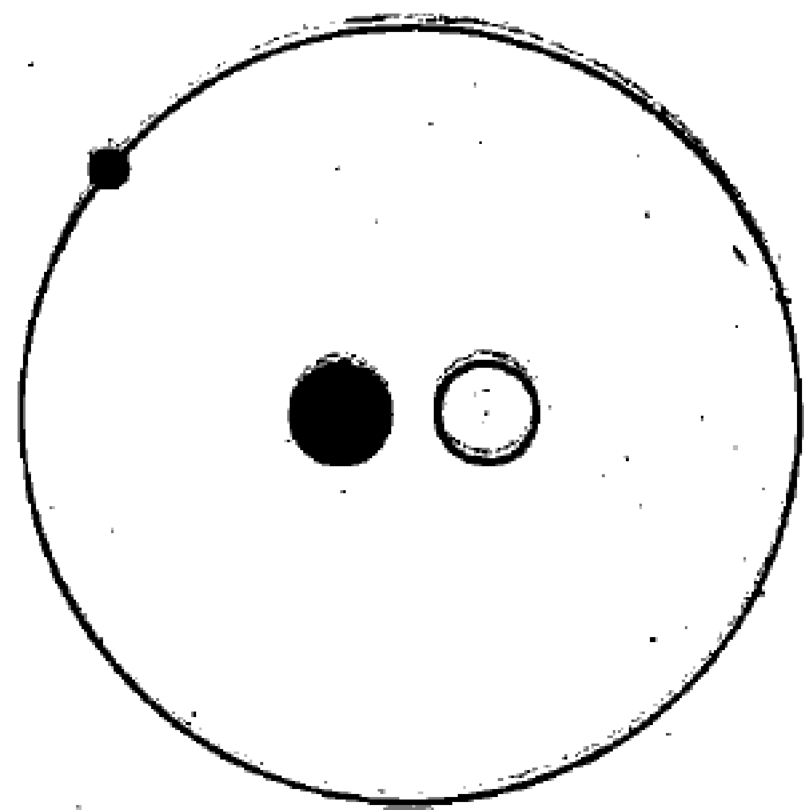


圖 4－97　反重氫

【反旋風】(Anti-cyclone)

一種進行波。

詳閱“旋風（*Cyclone*）”條。

【反型晶體】(Enantiomorphs)

沒有對稱平面或對稱中心的晶體。

【反射】(Reflection)

波動（如聲波、光波、無線電波、水波等）由甲介質進入乙介質時，有折返於甲介質之現象，稱爲反射。

在一介質中行進的波，如輻射或聲波，遇到另一不同介質時，一部分會穿過而發生折射；另一部分則會反射回原介質。甚至水波碰到障礙時也會反射。在規則（或鏡式）反射後，波動的傳播方向可以由簡單的反射定律求得，即入射波和反射波方向與反射面法線的夾角相等，且三者在一平面上。這些夾角分別稱爲入射角和反射角。對於正向入射波，入射角和反射角均爲零。粗糙面的反射是多方向的，這種不規則的反射稱爲漫射，就微觀觀點看其反射仍是遵從反射定律。反射波能量與入射

波能量之比稱爲反射比。

就廣義觀點看，粒子與大質量物體間的彈性碰撞也可視爲反射，例如帶電粒子對位壘所發生的反射。

【反射比】(**Reflectivity**)

當一波動自一介質反射時，其反射波能量與入射波能量之比，稱爲反射比。這個比值的大小，隨著介質的不同而不同，不同物質的反射能力總是不一樣的。例如對光波（電磁波）而言，不同的介質，主要是具有不同的折射率。因此，反射比的大小決定於一介質的折射率。

在電磁學裏，不同介質具有不同的介電常數ϵ、導磁率μ和導電係數σ等。因此，折射率顯然又與這些係數有關。換言之，反射比亦與這些係數有關。反射比又稱作反射係數（*coefficient of reflection*）。

反射係數與折射率的關係式如下：

$$\rho=\frac{I_r}{I_o}=\left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2 \qquad (1)$$

假如入射角ϕ爲任意值，不再爲零（垂直入射），反射係數可由夫累涅爾（*Fresnel*）公式求得。因此可寫成極化輻射的形式

$$\rho_{\perp}=\sin^2(\phi-X)/\sin^2(\phi+X) \qquad (2)$$

$$\rho_{\parallel}=\tan^2(\phi-X)/\tan^2(\phi+X) \qquad (3)$$

此處$\rho_{\perp}$爲當電場波向量垂直於入射平面時的反射能力；$\rho_{\parallel}$爲電場的波向量平行於入射平面時的反射係數。X表示折射角，由司乃耳定律（*Snell's law*）決定，非極化光可視爲由等量的垂直及平行分量的線性組成。非極化輻射的反射率，則爲（2）式與（3）式的平均值，即

$$\rho=\frac{1}{2}(\rho_{\perp}+\rho_{\parallel})$$

反射係數與入射角的關係在夫累涅爾方程式中並不明顯。然而一些重要的特性可以看出來。第一，當正射（$\phi=0$）時，（2）式及（3）

式變成（1）式。第二，$\phi+\lambda=\frac{\pi}{2}$，$\rho$變爲零，因爲（3）式的分母變爲無限大。利用司乃耳定律（$\sin\phi=n\sin X$）消去X，我們可得

$$\tan\phi_B=n$$

由此式定義的入射角特稱爲布如士特角（*Brewster's angle*）。從此角度入射的輻射線，其反射光線中平行的極化分量完全不存在。此種現象可用來獲得極化的紅外線。否則以舊式方法不能獲得紅外線的極化光。以布如士特角傾斜的窗戶，仍允許輻射線通過（至少電場平行的分量）而沒有反射的損失，此爲一極有利的特點。第三，在大的入射角（$\phi\to\frac{\pi}{2}$）$\rho_\perp$及$\rho_\parallel$和ρ都接近1的值。此可由（2）式、（3）式及三角關係式，很快得到。由此，同理可推知當$X=\frac{\pi}{2}$，$\rho_\perp=\rho_\parallel=\rho=1$。此種現象發生於輻射線由介質內部射向眞空界面。由$\sin\phi=n\sin X$，我們得到

$$\sin\phi_C=n$$

此角ϕ_C稱爲臨界角。在介質內以此角度到達邊界的輻射（或角度$\phi>\phi_C$），將完全反射。當固體不完全透明，有相當程度的吸收時，夫果涅爾定律變得複雜。然而在正射的特別情況仍極簡單，即

$$\rho=\frac{(n-1)^2+k^2}{(n+1)^2+k^2} \qquad (4)$$

此處k爲消光係數。（4）式較（1）式具一般性。高反射率的產生，不單在折射係數高的時候，當k高時亦然。金屬正是此種例子。於透明晶體中，色散帶的中間區域，當k趨近極大時，也大約增高反射程度。

【反射本領】（Reflecting power）

發光體各有其亮度，至於不發光體如書、紙等，因被光源照射亦可發亮。此乃因這些物體將射於其上的部分光線漫射各方，而使觀察者感覺光線自它發出。

不發光物體的亮度B與其照度E成正比，比例常數ρ即該物體的反

射本領，以方程式表示爲　　$B = \rho E$

B與E的單位均爲每平方厘米流明。

【反射光柵】(Reflection grating)

詳閱"反射式繞射光柵(*Reflection diffraction grating*)"條。

【反射式繞射光柵】(Reflection diffraction grating)

這種光柵的刻痕是在金屬的面上，利用各刻痕的反射光來造成繞射圖樣。改變刻痕的形狀與角度，即可使單刻痕繞射的中央極大，落在某一高階的主極大上。例如圖 4 — 98 所示的反射式繞射光柵，是在金屬面上，刻劃鋸齒形的刻痕而構成的。來自光源S或射至觀察點P之光的方向角，可從光柵平面的法線，或一刻痕面的法線來量度。這兩對角度的關係是

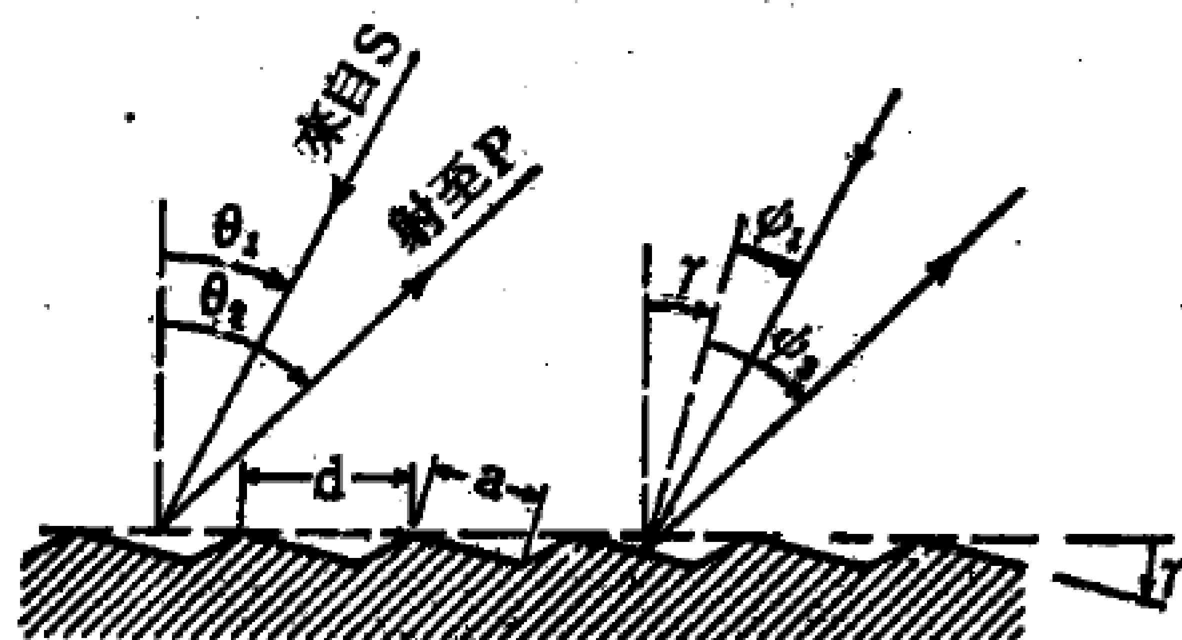


圖 4 — 98

有鋸齒形刻痕的反射式繞射式繞射光柵

$$\Psi_1 = \theta_1 - \gamma \quad \Psi_2 = \theta_2 - \gamma$$

其中γ是刻痕面與光柵平面的夾角。

【反射角】(Angle of reflection)

反射線與法線所夾之角，稱爲反射角。

參閱"入射角(*Angle of incidence*)"條。

【反射阻抗】(Reflected impedance)

在互感(*mutual inductance*)電路中，因主、副線圈之互相感應，使得電路中所存在的阻抗(*im-*

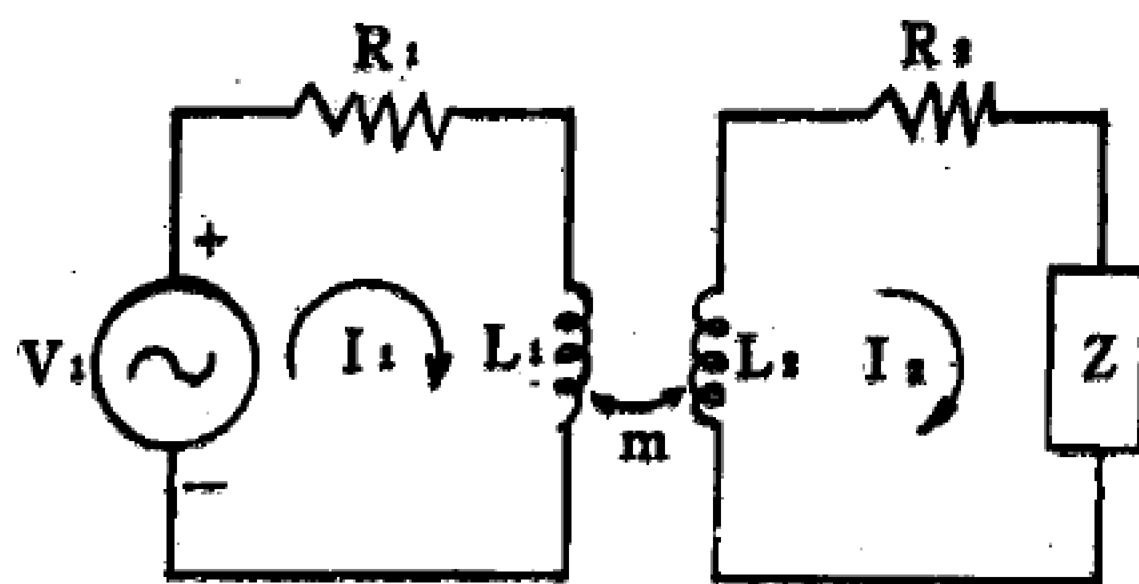


圖 4 — 99　變壓器的電路

pedance），除原有的電感抗及電阻外（若電路中有電容器，則有一電容抗），尚有一新的阻抗因電路的互感而產生，即反射阻抗，茲以變壓器電路爲例，如圖4—99所示。

主線圈電阻R_1，自感L_1接在電壓源V_1上，副線圈的電阻R_2，自感L_2接在負荷Z上，利用網路電流分析得

$$\left.\begin{aligned}(R_1+j\omega L_1)I_1+j\omega MI_2&=V_1\\ j\omega MI_1+(R_2+j\omega L_2+Z)I_2&=0\end{aligned}\right\}\qquad(1)$$

定義

$$Z_{11}=R_1+j\omega L_1=Z_1$$

$$Z_{12}=Z_{21}=j\omega M$$

$$Z_{22}=R_2+j\omega L_2+Z=Z_2+Z$$

Z_1及Z_2分別爲主線圈與副線圈的內阻抗，（1）式可被改寫爲

$$\left.\begin{aligned}Z_1I_1+Z_{12}I_2&=V_1\\ Z_{21}I_1+Z_{22}I_2&=0\end{aligned}\right\}$$

故主線圈的電流是

$$I_1=\frac{(Z_2+Z)V_1}{Z_1(Z_2+Z)+\omega^2M^2}=\frac{V_1}{Z_1+Z_1'}$$

式中$Z_1'=\omega^2M^2/(Z_2+Z)$，稱爲副線圈對主線圈的反射阻抗或轉移阻抗（*transfer impedance*），同時副線圈的電流是

$$I_2=-\frac{Z_{21}}{Z_{22}}I_1=-\frac{j\omega M}{Z_2+Z}I_1$$

【反射定律】（Law of reflection）

反射第一定律——反射線與入射線各在法線之一側，且三者同在一平面上。

反射第二定律——反射角恆等於入射角。

【反射計】（Reflectometer）

用來量度反射比值的計量儀器。

【反射面】（Reflection plane）

兩介質之接觸面，又名境界面。

【反射係數】（Reflection coefficient）

對於平面波或透射線，反射係數是反射波對入射波之比。延伸此義，反射係數亦可用於網路觀念上，以表示阻抗不匹配的效應，一般言之，反射係數有下列幾種定義：

1. 某表面的聲波反射係數是反射波與入射波的能量流速之比。

2. 某傳遞介質的反射係數定義如下：

對於某特定方式的傳遞，在某定點所觀察到的反射波某種量與入射波的對應量之比。不同量的反射係數也不同，所以反射係數究屬何量應先予說明。

“電壓反射係數”是一常用名詞，其定義爲反射波對入射波的複電場強度（或電壓）之比。

3. 光波的反射係數定義爲反射光強度與入射光強度之比，其大小由兩傳遞介質的折射率而定。當垂直入射時，其公式爲

$$\frac{I_r}{I_i} = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}\right)^2$$

式中 I_r 與 I_i 分別表反射光與入射光強度；n_1 與 n_2 分別爲入射光所來自的介質與反射光波的介質之絕對折射率。

【反射起偏器】（Reflected polarizer）

反射起偏器在紅外線或紫外線區域，最能顯示出它的獨特性能。

最簡單的反射型起偏器是一塊單純的平板玻璃。當玻璃面垂直於入射光方向時，約有92％功率透射過去，而反射光佔8％，無論反射或透射都是非偏振光；若使玻璃面逐漸傾斜，反射的對稱逐漸被破壞，法科學家馬呂士（*Malus*）在1808年首先觀察到一個有趣的現象，就是透

射光被部分偏振，而反射光亦然，並且二光束的偏振方向互相垂直。

爲何斜向的反射會造成光的偏振？這是電磁理論導出的必然結果，在此我們不借用數學，僅做粗略的圖解。

圖 4 — 100是一個特例，光束$\overrightarrow{B_1}$與法線成56.3° 入射於玻璃片，其折射率是1.50，又假設入射光是 100 %的線偏振光其電場振動方向平行紙面（當然同時垂直光軸）；然後考慮折射光$\overrightarrow{B_2}$與反射光$\overrightarrow{B_3}$，由司乃耳（ *Snell* ）的光折射定律我們曉得$\overrightarrow{B_2}$的方向要比$\overrightarrow{B_1}$陡一些，因電場振動方向必垂直前進方向，所以產生了一個很奇特的現象；折射光$\overrightarrow{B_2}$的振動方向正平行於反射光$\overrightarrow{B_3}$方向（這也就是選擇56.3° 入射角的理由）。又因爲光波是橫波，由此我們可以得一結論：反射光$\overrightarrow{B_3}$不能存在。詳言之，根據電磁理論，光波本身是橫向的電場振動，此情況下，當光波由空氣進入玻璃的剎那，其振動方向恰好平行$\overrightarrow{B_3}$方向，故不能找到$\overrightarrow{B_3}$的橫波分量，當然能量也就沒有理由沿$\overrightarrow{B_3}$方向傳遞了。

上例之入射線偏振光其振動方向若改爲垂直紙面，則情況又不同了。我們可以推想得到，折射光$\overrightarrow{B_2}$和反射光$\overrightarrow{B_3}$二者都應同時存在，並且電場振動方向均垂直紙面，至於各分配入射光能量的多少比例，則由較深的電磁公式可以準確計算。

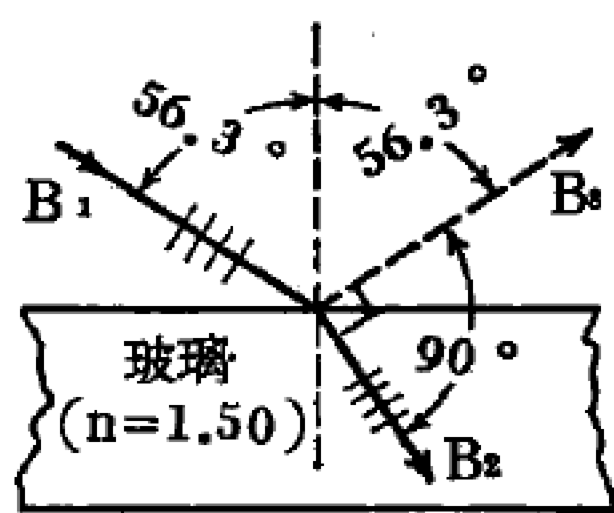


圖 4 — 100

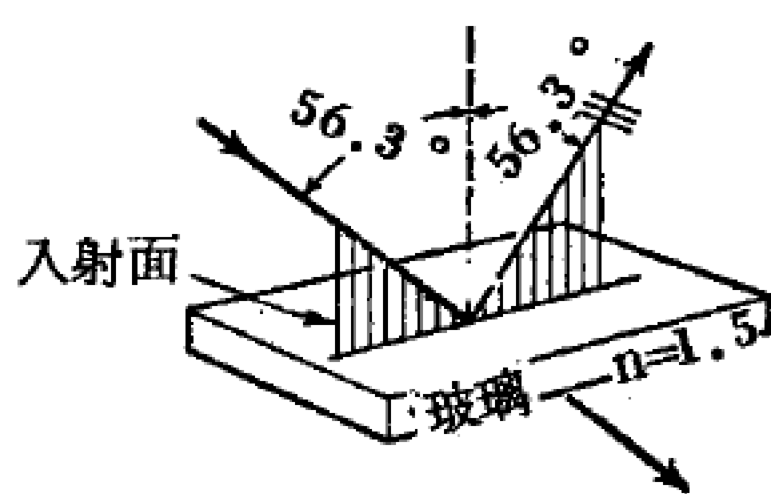


圖 4 — 101

在實際例子中，假設 56.3°入射角的光是一般非偏振光，見圖 4 — 101，那麼玻璃片的效應又是如何？我們想像玻璃分子有一機構將入射光分解成$\overrightarrow{C_1}$和$\overrightarrow{C_2}$兩個分量，$\overrightarrow{C_1}$和$\overrightarrow{C_2}$分別平行和垂直於入射、反射、折射三光束所決定的入射面，由前文我們知道反射光只能有$\overrightarrow{C_2}$分量，不含$\overrightarrow{C_1}$分量，於是反射光呈100 %偏振。折射光包括$\overrightarrow{C_1}$和$\overrightarrow{C_2}$兩個分量

，但$\vec{C}_2$分量部分參加反射，所以形成$\vec{C}_1$分量優勢的部分偏振光。

如果光束不剛好以56.3°的偏振角入射，則情況又不一樣，因爲$\vec{C}_1$與$\vec{C}_2$分量所產生的折射光其振動方向都不正好平行$\vec{B}_3$反射方向，自然$\vec{B}_3$方向可以有也必須有$\vec{C}_1$和$\vec{C}_2$分量，所以不在偏振角的反射光偏振程度恆小於100％。

產生完全偏振之反射光的唯一入射角度稱爲布如士特角（*Brewster's angle*）或偏振角，要製造純偏振光首先必須知道這個角度，注意偏振角是由平面之法線算起的。

有一線性偏振光斜向入射於一平滑的板狀絕緣體，用電磁波動方程式我們可以計算反射比。這個問題包括波動方程式、邊界條件（板面即爲邊界面）以及三個參數：(1)入射角，(2)絕緣板的折射率，(3)入射光之偏振方向，如是我們可以算出反射光與入射光能量的比例，即反射比。由此問題之解我們也發現入射偏振光的電場振動方向（偏振方向）對反射比的影響很大。

由電磁理論可以解出不同方向線偏振光的反射比ρ_0，θ代表波振動平面與入射面的夾角（入射面就是入射、反射與折射三方向所決定的平面）。在圖4—102中我們只取了兩個極端的例子：一個θ＝0°，光波振動方向平行入射面，其反射比是ρ_0；另一個θ＝90°，也就是振動方向垂直入射面，其反射比符號ρ_{90}。當偏振方向平行紙面且以偏振角入射時，不產生反射；若偏振光向垂直紙面則無此現象，故圖4—102之兩條曲線ρ_{90}連續上升，ρ_0在偏振角56.3°有一零值。

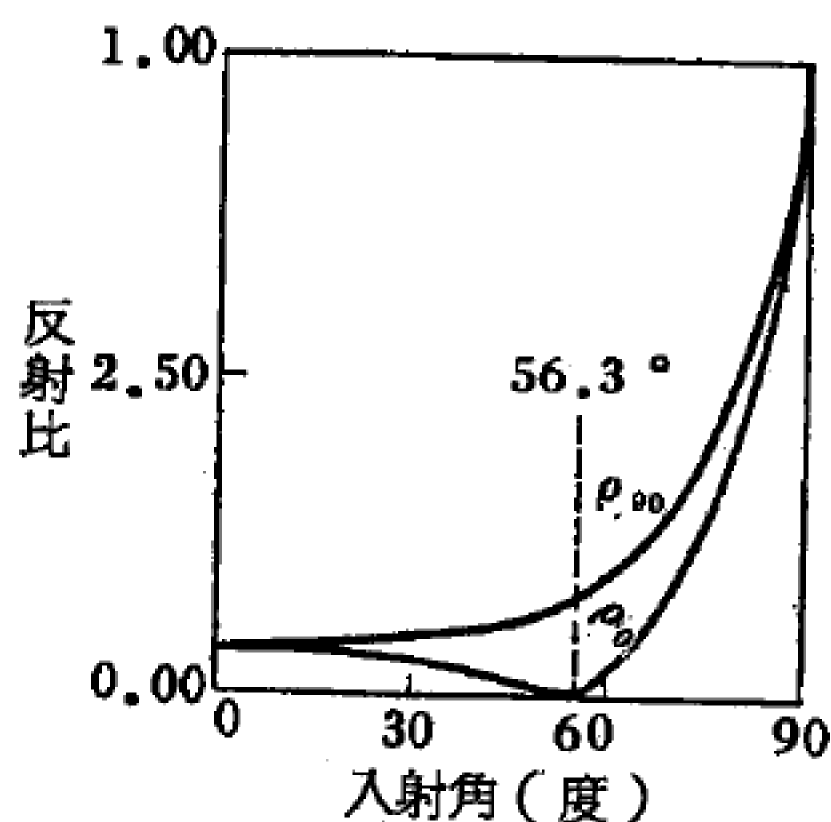


圖4—102

眞空中單一絕緣板面之反射比

利用圖4—102可以預測各個角度的反射光偏振效應。若非偏振光

以 56.3°傾斜照射玻璃板，首先將入射光分成偏振方向 0°與 90° 兩個分量，圖 4 — 102 告訴我們 $\rho_0 = 0$ 而 $\rho_{90} = 0.15$，因此反射光之偏振程度 100 %；當入射角趨近 0°或 90°時 ρ_0 與 ρ_{90} 之比同時接近 1 ，故反射光的偏振程度應該是 0 ，換句話說，非偏振光若以輕觸玻璃面方向或垂直照射，其反射光仍爲非偏振光。

目前我們僅考慮一個平面的反射，但實際上絕緣板如玻璃片都有兩個介面，所以應一連串發生兩次反射，總合的反射光強度必然大一點，不過偏振角仍不變，反射光依然是 100 %的偏振。

雖然玻璃片的反射光呈現高度的線偏振，但透射部分則不然，用單片玻璃作反射偏光器時只利用反射部分，至於透射光則任其通過或在玻璃片背面塗上黑漆以吸收透射光。

折射率對光波波長的變化影響非常輕微，假如入射光不是單色光，而是分佈成一個波長區域，那麼偏振角就選擇一折衷波長而用其折射率計算，以期達到最大的偏振程度，反射型起偏器的特性就在於它能適應二或三倍波長的寬廣能譜區域。

以上的結果是就光的波動模型所推演而得的，我們其次改換角度，以光子模型來討論光的折射與反射效應。根據光子理論，打到玻璃面的光子不是完全反射便是完全透射，換言之，每個光子的反射比只能是 0 或 1 ，正如鎳幣落地，不是正面便是反面，無論何種偏振型式的光子什麼角度射到玻璃板，它必須整個地反射或透射，但這個結論並不與前文相衝突，因爲光束的光子數目是數以百萬計，當它以如此龐大數量的光子與玻璃板作用結果，我們才能量度到無數光子統計的平均“偏好”，這就是光波動模型導出的反射比，在強光下波動模型與微粒模型的結果不謀而合，於此又得一明證。

【反射脈動】(Reflective pulse)

當一個脈動沿著繩或彈簧運動，到達其固定端點時，就會反射回去.

而向相反的方向進行，被反射回來的脈動稱為反射脈動。如圖 4—103 所示之情形。

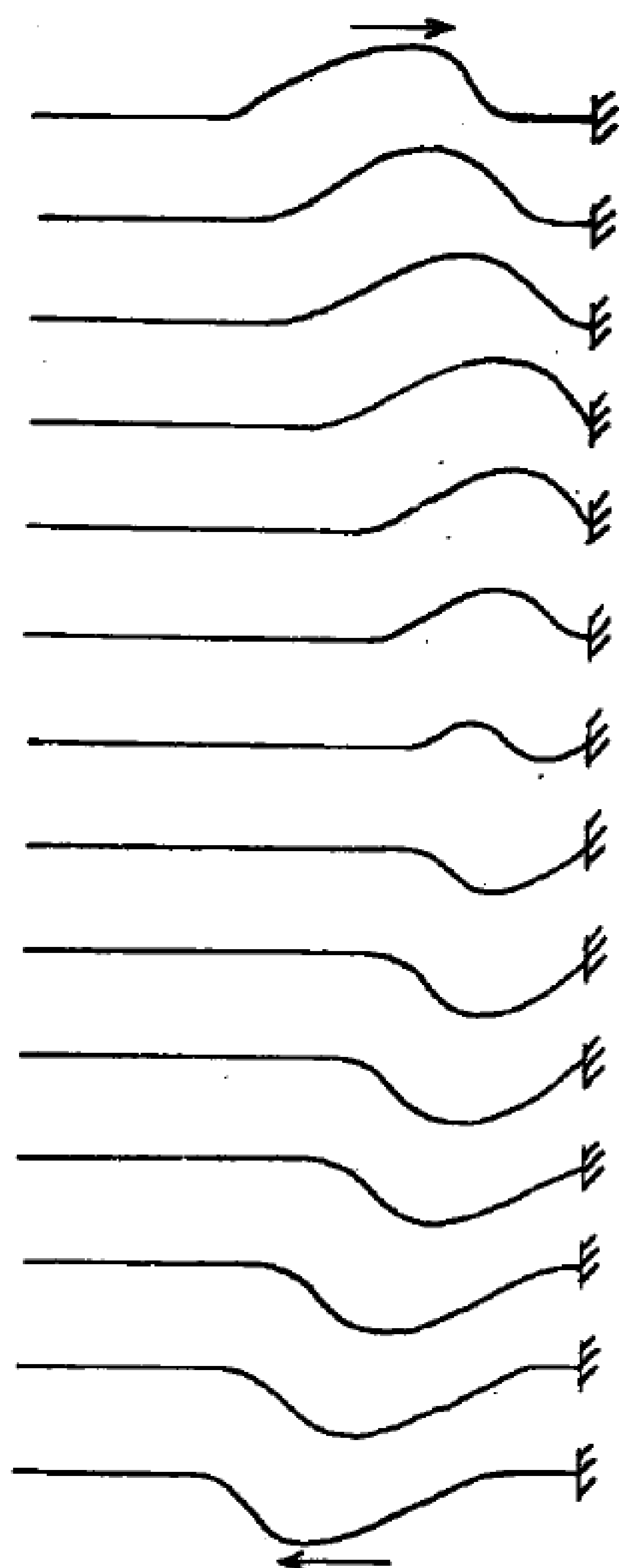
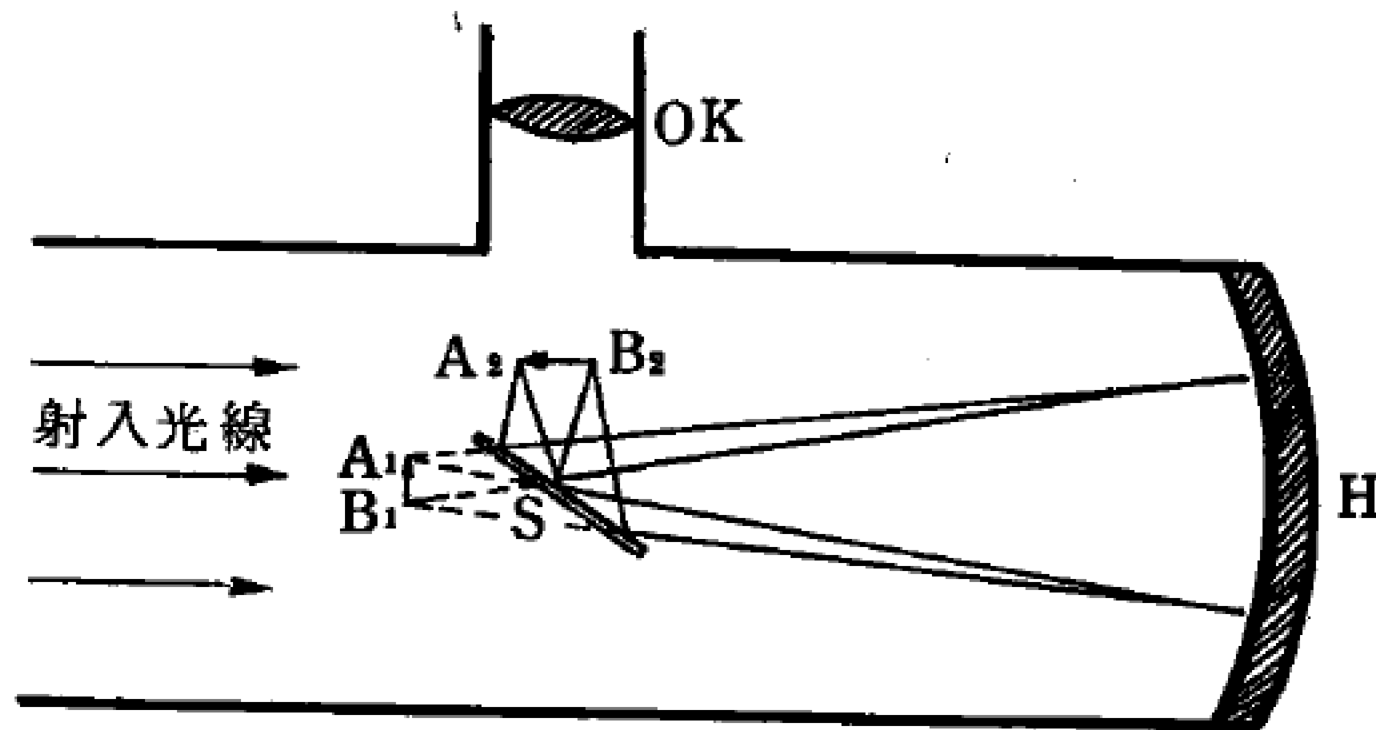


圖 4—103
繩波遇一固定點，而被完全反射回來。

【反射望遠鏡】(Reflective telescope)

觀察明亮的物體時，如果使用僅由單透鏡製成的簡單望遠鏡，會在像中發生令人困惑的色邊。牛頓 (*Isaac Newton*) 認為，利用透鏡而要避免此項色像差是不可能之事，故在 1668 年發明了一種完全新型的望遠鏡。他廢棄了接物鏡而代之以一面大的凹面鏡 H，由天體來的平行光，經此凹面鏡反射後，本應生成一倒置而縮小的實像 A_1B_1。但這些自凹面鏡反射的光線集合成像以前，會被一面在光線行程中斜置的平面鏡 S 偏轉到 A_2B_2 (見圖 4—104)。使其恰好落於裝在側面短管中的目鏡 (凸透鏡) 或放大鏡 OK 的焦點內。再由目鏡將此實像放大，即可看見其虛像。因增加反射鏡的直徑比較容易，故至今仍有根據此一原



H凹面鏡；S平面鏡；OK目鏡
圖 4—104　反射望遠鏡

理而造成的天文望遠鏡。又因其物鏡不用透鏡而用反射鏡，故名爲反射望遠鏡。

有時爲了改良像差、增大視場，還在球面鏡前加上改正片（*correct plate*）。由於牛頓、卡士格冉（*Cassegrain*）和赫協爾（*Herschel*）等型式的反射望遠鏡孔徑大、視場中心穩定、清晰度高，所以爲天文臺所廣泛採用。

德國蔡司（*Zeiss*）廠爲漢堡天文臺製造的反射望遠鏡，具有100厘米之孔徑。美國加里福尼亞州威爾遜山（*Mt. Wilson*）天文臺亦有一架此種望遠鏡，其直徑竟達250厘米。巴羅馬山（*Mt. Palomar*）天文臺的反射望遠鏡是世界第一大者，其直徑有508厘米。

【反射損失】（Reflecting loss）

由於輸送線本身之阻抗不匹配而影響之電能損耗。

【反射電流計】（Reflective galvanometer）

是爲測極弱電流之器械，其構造以一極細之鋁線，懸一極輕之凹面鏡，其鏡之裏面，附一極小之磁石，其周圍用絕緣導線，捲爲線圈繞之，鏡之上部，橫固定一大磁石，以其南極向北，北極向南置之，則可減弱地磁對於小磁針之磁作用，以使電流計之感度銳敏，用此測電流時，先以光線投射於鏡上，鏡前遠近適宜處，置一尺，則反射光生像於尺上，記其位置，通電流之後，則磁針傾斜，而反射光之像，在尺上移動，記其所移動之距離，則可比較電流之強弱。

【反射照相機】（Reflective camera）

反射照相機如同一般照相機有物鏡，可以校準待攝的物體 AB，作爲明顯的 DC 像攝入於照像膠片上（圖4－105(*b*)）。

但光線只能在曝光時到達膠片上。平時到膠片途中的光線是被遮蔽。但在曝光以前如何校準景物的像圖並如何知道是明顯呢？

正常照像機是裝有一檢像鏡，可定出照像範圍，亦能與物鏡相配合

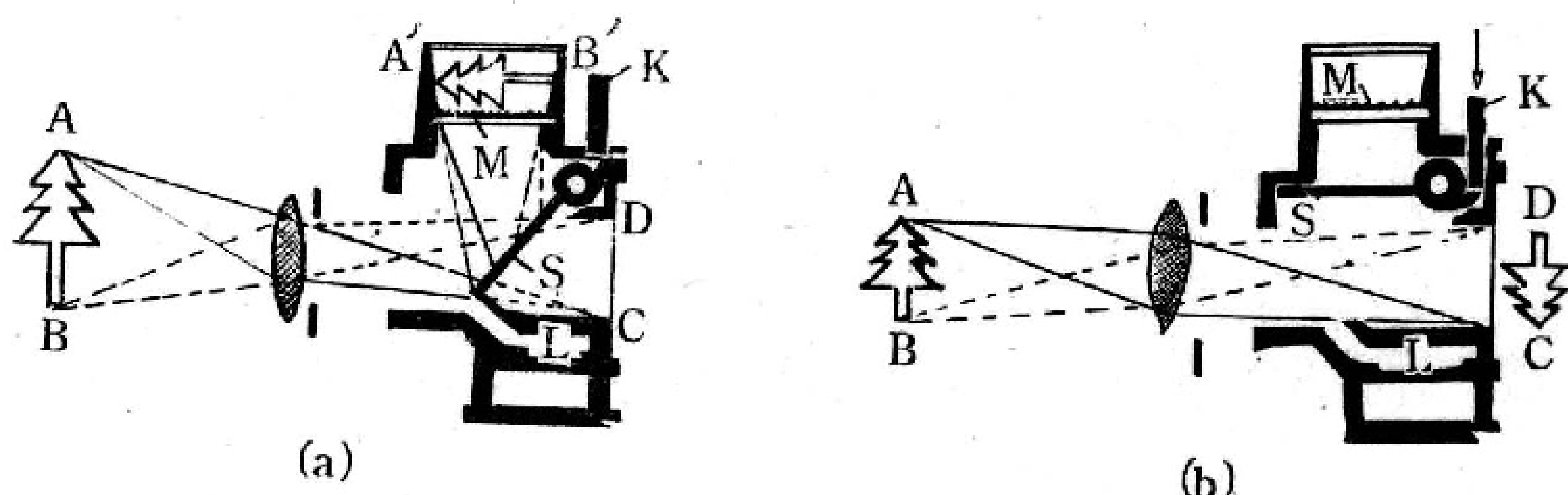


圖 4 — 105

。距離則照固定的標記校準，不予證實是否有明顯的像。

反射照像機則不然。攝影物鏡亦當作檢像鏡用。在未作曝光時，有一鏡 S（圖 4 — 105 (*a*)）將入射的光線反射至上端，而投射於毛玻璃片 M。由物鏡到毛玻璃片的路程是與物鏡到膠片平面相同。

照像時將這反射鏡翻向上端，曾在毛玻璃片校準的明顯像（AB），亦應在膠片上同樣明顯（DC）。於是在反射照像機毛玻璃片看到的像，亦可在膠片上攝得眞正的像。

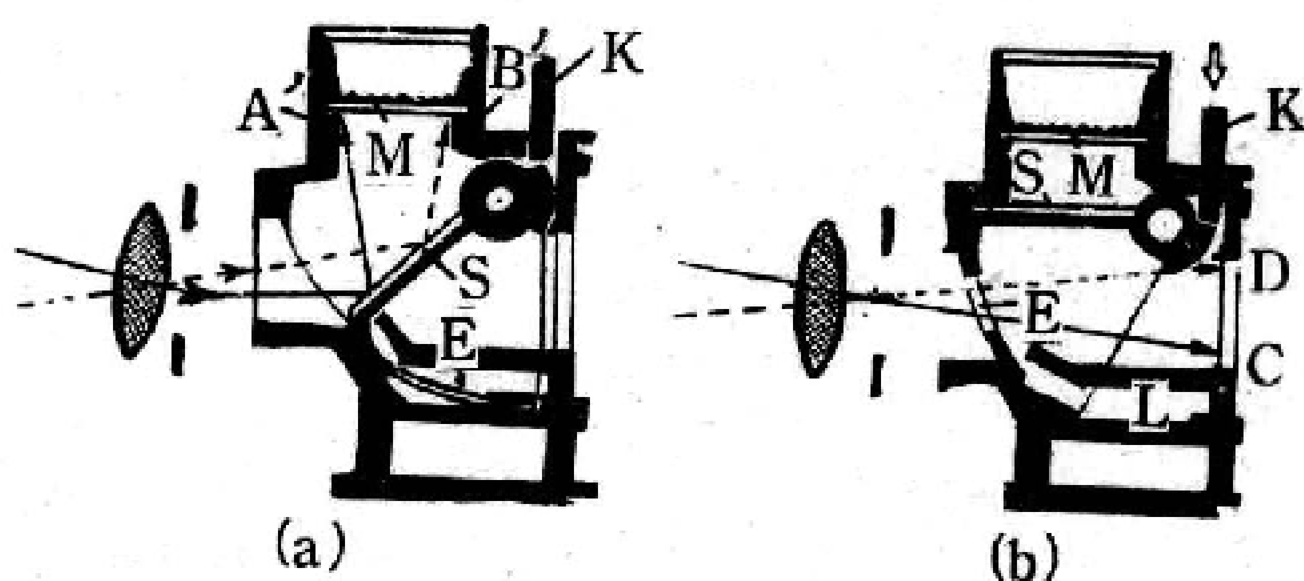


圖 4 — 106

另須注意的，當反射鏡翻起後，在曝光時，只能讓光線由物鏡射入，而不能有側面光由毛玻璃片上透入。如圖 4 — 106 (*a*) 指出的，載鏡體在後段有一弧形壁面，並有曝光孔 E，藉此由物鏡入射的光線，只能在按下按鈕 K，使反射鏡向上翻轉（如圖 4 — 106(*b*)）時，才可到達膠片。平時這曝光孔 E 是藏於小室 L，因此光線無法透入膠片。此部分稱爲擺轉鏡，其

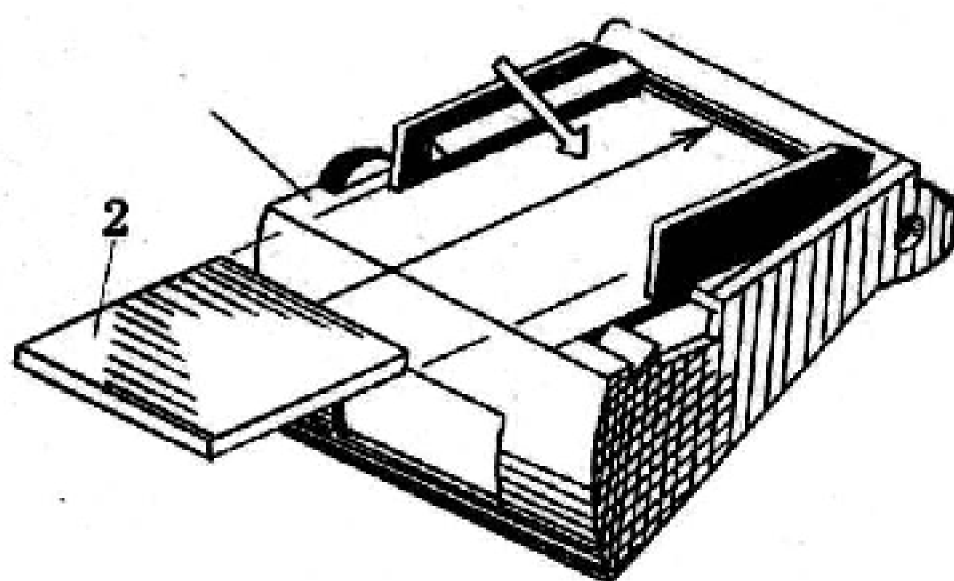


圖 4 — 107

構造如圖 4 — 107所示，以兩滴膠水塗於白箭頭所指的載鏡體平面上，然後將鏡 2 推入於膠水面上，直至後面有黑箭頭的橫擋凸緣處。隨後將鏡加壓，使膠水均勻分佈，而固定於載鏡體上。

【反射線】(Reflective ray)

由反射面射返之光線。

詳閱“入射角 (*Angle of incidence*) ”條。

【反射器】(Reflector)

反射入射波的裝置，在電磁中一般來講，就是在天線中用來反射無線電波，從而改變天線方向圖的無線電波反射器 導線、導線系統或整塊的金屬導體。最簡單的反射器是安裝在發射或接收偶極子後面大約 1/4 波長的地方用以“切除”該偶極子方向圖後緣的無源偶極子。在實際中所採用的，還有其他一些類型的反射器，例如平面反射器。在分米波與厘米波的波段內，常常採用拋物面反射器。

在日常生活中，也有用以反射光線者，如三面鏡反射器，由有上下疊合、左右合併的角鏡三個豎立構成，則這三面鏡所有前面入射的光線，斜面射入的亦同，都可以向原路射回，我們可用眼睛試驗證明：若是向三面鏡看去，而眼瞳發現在後面三鏡併合的角上，如果將頭向左右上下擺動，而眼睛仍是在三鏡角上。這種現象亦可以作裝配鏡面之用。各鏡差不多準確併合之前，你可看出六隻眼睛繞集於鏡之中心，然後可將鏡相對移動合成爲一隻眼睛。

若是將這眼睛圖像比之於簡單的角鏡（圖 4 — 108），那麼你就可察覺到眉是處於眼睛下面。上下均由三面鏡中顛倒了。若將這像在頭頂上觀看，則上下均呈現正像，但左右兩邊仍是交換了。這種觀察你可不能以眼睛爲之，因爲在頭頂觀察你的眼睛亦是隨著轉動，這種只有用一紙片寫字，以觀察其左右相

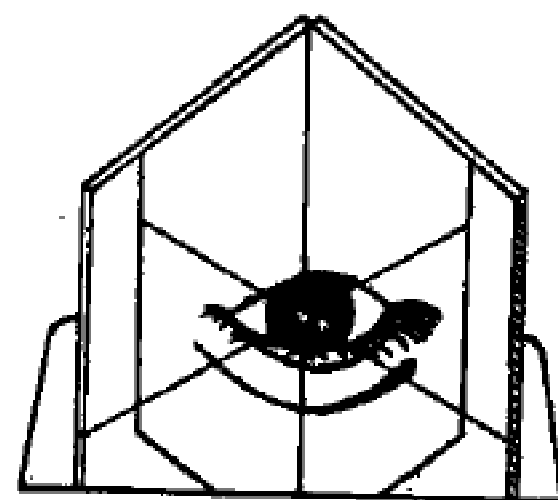


圖 4 — 108

反之結果。

【反射劑】(Reflector)

要完美的利用反應爐，首要在於燃燒時必須將鈾中出現之中子絕大部分再用於新的裂變程序中，或至少須在增殖性的核中發生捕捉作用。尤其應減少向周圍逸出之損失。一原子反應之臨界質量端在如何限制中子逸出爐外。故吾人須在爐之周圍加以遮屏，俾使中子折返爐內，此種遮屏稱為“反射劑”。

所以反射劑之功能在使周圍逸出之中子再回向反應爐之中心。事實上，並無十全十美之反射劑存在；所有具此功能之物質亦或多或少吸收一部分中子，且使一部分又擴散，故反射效率可有 80～97％。

常用反射劑即爲用於反應爐中緩速劑物料，且兩者間不相妨礙。重水爲優良反射劑（反射能力 97％），但因價昂，故常代以普通水（ 82％）或石墨（ 93％），後者更爲一般反應爐之常用反射劑。

鈹（ 89％）或更佳之氧化物氧化鈹 *BeO*（ 93％），用做反射劑實較用做緩速劑或鞘套金屬更簡易。若干實驗反應爐中使用輕水，如反應爐“ *M.T.R.* ”（ *material testing reactor* ）及其他類似之反應爐。法國水池式反應爐如格勒諾勃爾（ *Grenoble* ）之西羅（ *Siloé* ）爐、加大拉史（ *Cadarache* ）之天馬（ *Pégase* ）反應爐及豐德內－歐－羅斯（ *Fontenay-aux-Roses* ）之垂頓（ *Triton* ）反應爐均使用鈹或氧化鈹（ *glucinium* ），其他美國反應爐，亦用此金屬。

【反射體】(Reflectors)

當加電能於半波偶極天線時，其輻射型在天線周圍形成一核桃形。假如另用一根導體靠近此偶極體，則此導體因受偶極體電磁輻射之感應而產生一電流。此導體內之電流又將導體變成一天線，而發送其自己的輻射，因此在偶極體及導體之周圍有兩個輻射場，互相作用而產生一個總電場。此兩輻射場相互作用之實際狀況，則視偶極體及導體長度之關

係，及兩者間之距離而定。

關於電磁場相互作用，如兩單元分開之距離，爲一個波長之 15 % ，而導體較偶極體略長，則此兩個電磁場合併而成之輻射型，如圖 4 — 109所示。極大部分之輻射均偏向於偶極體無導體之一邊。加導體使大部分輻射導向至偶極體之另一邊，其作用與反射鏡子一樣，故稱此導體爲反射體。

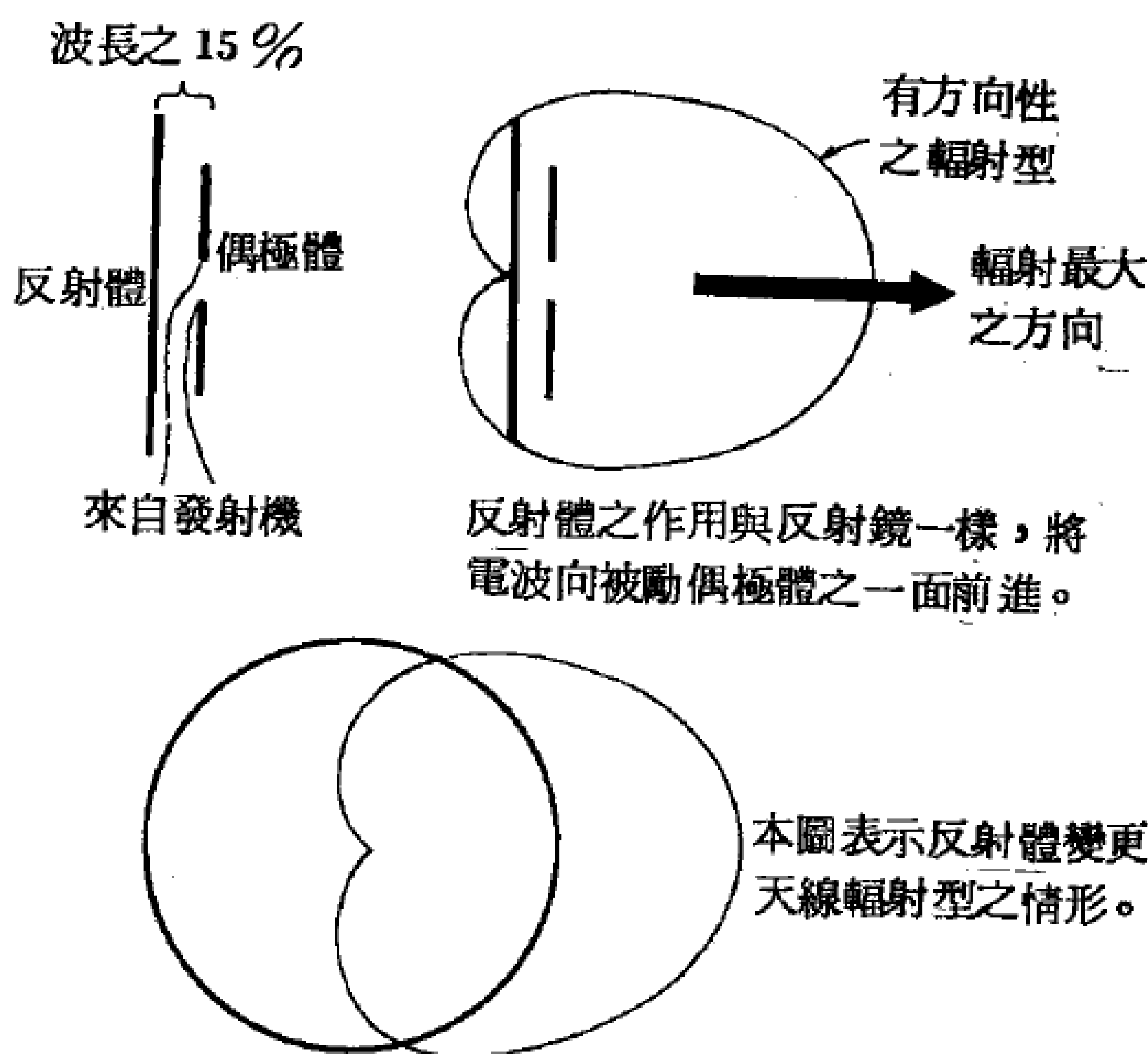


圖 4 — 109　反射體

【反射體天線】(Reflector antennas)

將簡單反射體單元，使被勵偶極體獲得方向性，如再能將反射體作更精巧之安排，則其方向性即可大大的增

反射體單元
輻射型
90°
被勵單元
0.1λ

圖 4 — 110　反射體天線

加。安排之方法有好幾種，視所需要方向性及其所用頻率範圍而定。

其中之一如圖 4 — 110 所示，稱為角反射體（*corner reflector*），它含有兩排寄生反射單元，構成一 90°之角，被勵單元則位於此 90°角之分角線上，距離兩排反射體交點約半個波長。各反射體間約 相隔 1/10 波長。

角反射體向前之方向性極高，向後及向旁邊之輻射，只有向前輻射之千分之一。

【反原子】（Antiatom）

原子和反原子，除了帶電量以外幾乎完全一樣。氫原子是由帶正電的質子（大圈）和帶負電的電子（小圈）組成。反氫原子則由帶負電的反質子（大黑點）和帶正電的反電子（小黑點）所組成。見圖 4 — 111 所示。

參閱“反物質（*Antimatter*）”條。

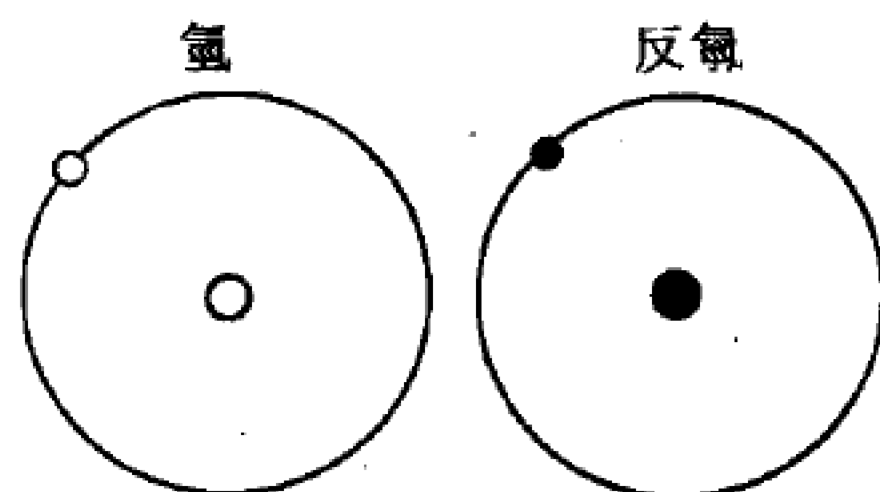


圖 4 — 111　原子和反原子

【反時針轉動】（Counter-clockwise rotation）

凡一種運動，其旋轉方向與時針轉動方向相反者，稱為反時針運動。

【反常色散】（Anomalous dispersion）

色散是折射率隨著波長增加而減小之變化的現象。若折射率隨著頻率的增加而增加，則是正常色散。由原子理論可得到氣體的折射率 n 與頻率 ω 的關係，當在頻

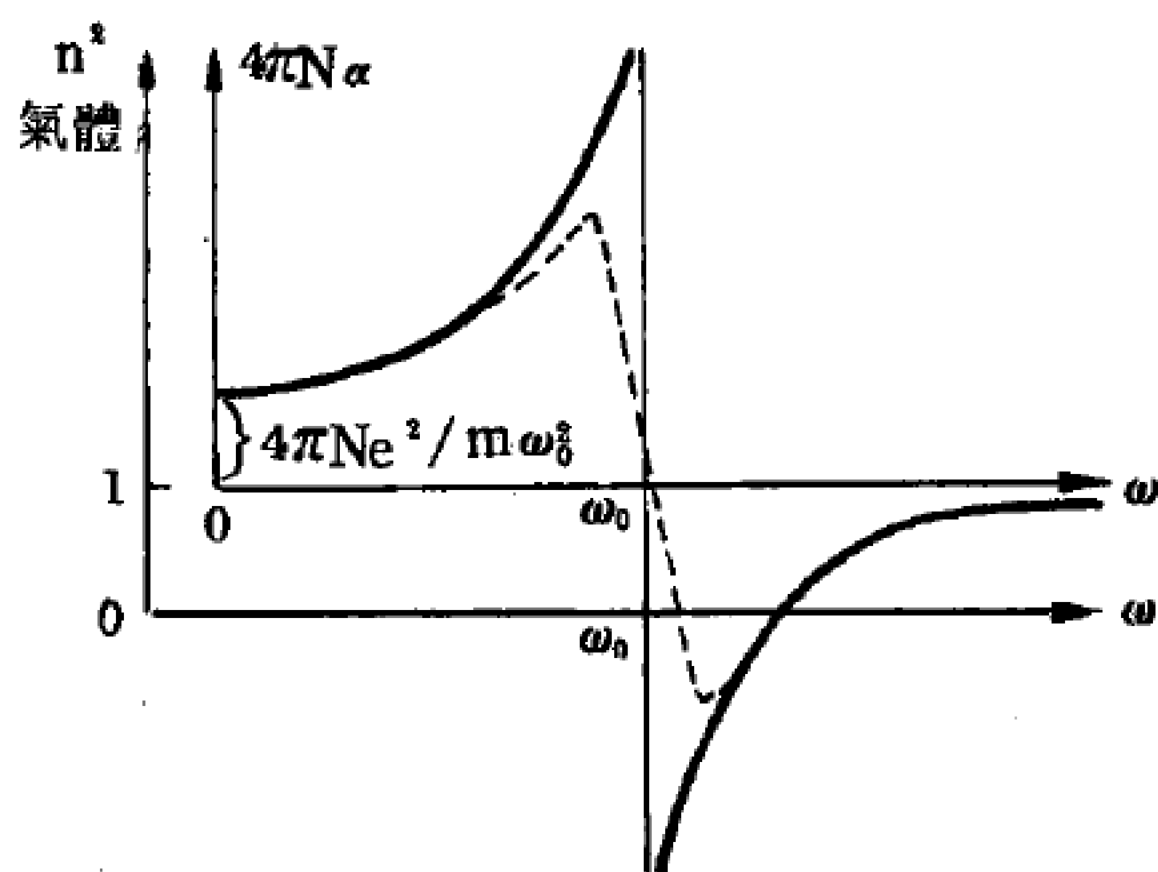


圖 4 — 112

率範圍內有共振頻率ω_0時，折射率與頻率的關係在共振頻率的附近可由圖 4 — 112 表示。

在一般情況下，介質可能有好幾個這種共振頻率，這些共振頻率相當於介質吸收光譜中的線或帶所對應的頻率值。在圖 4 — 112中，折射率在相對極大與極小時其頻率分別爲ω_1與ω_2，則ω_1與ω_2之間的色散關係稱爲反常色散。因此反常色散的來源可由共振頻率的意義說明，對於氫、氧和空氣的共振波長的平方值分別是 7.76×10^{-11} 厘米^2、7.00×10^{-11} 厘米^2 和 5.68×10^{-11} 厘米^2。

【反常則曼效應】(Anomalous Zeeman effect)

原子或分子若置於強磁場中，其光譜線往往發生劈裂，一譜線分爲數支，其劈裂程度與磁場強度成正比，此謂則曼效應。依舊量子理論，原子中電子有簡併軌道，雖能量相同但角動量不同，此種軌道所生的譜線在磁場中即應分裂爲 1 、 3 、 5 、 7 等單數分支，此謂正常則曼效應。惟多種原子光譜中，當原子中電子數目爲單數，則譜線分支常爲雙數，此現象不能以舊量子理論解釋，通稱異常則曼效應，或稱爲反常則曼效應。

參閱“異常則曼效應(*Anomalous Zeeman effect*)”條。

【反常趨膚效應】(Anomalous skin effect)

當電磁波穿入導體表面時，由於介質有吸收能量的作用，使電磁波的能量密度隨入射深度而逐漸減小。當電磁波的能量密度變成原有的$\frac{1}{e}$時，所穿入的距離叫做趨膚深度。趨膚深度的值通常爲波長的值除以一很大的常數，這常數與導體有關。趨膚深度與波長的關係就是趨膚效應。若用古典的方法以趨膚效應計算導電係數時，通常假設傳導電子的平均自由路徑較趨膚深度爲短，但是在低溫時對一純淨的金屬而言，即使頻率在微波範圍內，發現電子平均自由路徑大約比古典趨膚效應所得的值大 10^4 倍。所以在計算趨膚深度內電子的導電係數時，不能用古典的

方法，因爲在趨膚深度之外的電子（此處電場很小），可能在被碰撞前已經穿入趨膚深度的範圍內，這種現象稱之爲反常趨膚效應。在比較完美的理論，應將導電係數視爲頻率與波向量的函數。此外反常趨膚效應可用以探測金屬費米面的形狀。

【反粒子】（Anti-particle）

1928 年狄悅克預測電子有反粒子存在後，1931年安得生（*Anderson*）在宇宙射線中發現，今稱爲正電子（*positron*）。現在狄悅克的理論已經推廣到所有粒子，每種粒子都有它的反粒子。有時候反粒子就是原來的粒子，例如光子和 π^0 介子。粒子和反粒子有相同的質量、自旋和半衰期。它們的電荷、奇異數、重子數、輕子數都是大小相等、符號相反。粒子和反粒子相遇後同時消滅而產生新的粒子，最可能的情形是產生兩個光子，這種現象稱爲成對毀滅（*pair annihilation*）。一個能量很大的光子在經過原子核附近的電磁場時，往往產生一對電子和正電子，這一類粒子和反粒子同時產生的現象稱爲成對產生（*pair production*），述之於下。

質子的反粒子稱爲反質子（*anti-proton*）。1955 年由美國科學家沙格雷（*E. Segré*）和張伯倫（*O. Chamberlain*）在美國加州大學柏克萊校區首用質子加速器產生反質子。

粒子與反粒子之間的關係，大致如下：

1. 質量與生命期完全相等，自旋亦相等。

2. 同位旋 I 的值相等，I_3 則變符號（絕對值不變）。

3. 電荷、超電荷、重子數、輕子數、電子數這些量子數都變符號（絕對值不變）。

4. 費米子的宇稱與其反粒子的宇稱差一個 -1 的因數（乘上去），波子的宇稱則與它的反粒子之宇稱相同。

由上面的原則，每一個基本粒子都有一個相對應的反粒子，不過有

些粒子和它的反粒子相重合，如π°、γ、η°、ρ°等。由上面第三、第四兩個條件，這些本身就與其反粒子重合的基本粒子必需是波子，而且其電荷與超電荷必須爲零（波子的重子數、輕子數與電子數都是零）。

【反商晶格】（Reciprocal lattice）

設$\vec{a}$、$\vec{b}$和$\vec{c}$是沿晶體坐標軸上的三基本向量，定義

$$\vec{A}=2\pi\frac{\vec{b}\times\vec{c}}{\vec{a}\cdot\vec{b}\times\vec{c}}\quad\vec{B}=2\pi\frac{\vec{c}\times\vec{a}}{\vec{a}\cdot\vec{b}\times\vec{c}}\quad\vec{C}=2\pi\frac{\vec{a}\times\vec{b}}{\vec{a}\cdot\vec{b}\times\vec{c}}$$

由$\vec{A}$、$\vec{B}$和$\vec{C}$的線性結合可以構成許多點，這些點所形成的晶格稱爲反商晶格。因爲A、B和C的因次是長度之倒數，也是一般空間因次的倒數，反商因以得名。

茲將反商晶格的特性敍述如下：

1. 反商晶格的任一向量必垂直於眞正晶格的一組晶格面。

2. 設$\vec{g}$爲反商晶格中一向量，則

$$\vec{g}=l\vec{A}+m\vec{B}+n\vec{C}$$

式中l、m和n都是整數。若l、m和n互爲質數，則與$\vec{g}$垂直的一組晶格面各面間的距離是$2\pi/|\vec{g}|$。

3. 反商晶格的單位體積$\vec{A}\cdot\vec{B}\times\vec{C}$與眞正晶格的單位體積$\vec{a}\cdot\vec{b}\times\vec{c}$成反比，且其乘積等於$8\pi^3$。

4. 眞正晶格是其反商晶格的反商晶格。

5. 反商晶格的單元形狀並不一定，通常採其威格納、塞兹單元，這種單元所包括的區域稱爲布里元區。以上的性質都甚易由反商晶格的定義證明。

【反結合態】（Antibonding state）

原子結合成爲分子時，其價電子軌道互相混合成爲分子軌道，部分分子軌道能量較原子軌道爲低，稱爲結合軌道（*bonding orbits*），

部分分子軌道能量較高，稱爲反結合軌道（ *antibonding orbits* ）。穩定分子中大部分電子皆在結合軌道中，是爲結合狀態。若受光或其他原因的影響時，一個或數個電子自結合軌道被激發至反結合軌道，造成不穩定的反結合狀態。分子處於這種狀態中，其化學鍵往往遭破壞而分解。

【反復衰落】（ Airplane flutter ）

又稱飛機反射，電視接收機的畫面發生模糊不淸，其原因乃由於天空上飛機的反射波與直接波一同到達接收機，產生干擾所致。

【反電動勢】（ Back electromotive force ; Counter electromotive force ）

交流電通過線圈時產生一自感電動勢，其方向與外施電動勢相反，稱爲反電動勢。亦有當電動機運轉時，因其電樞上之各線圈切割磁力線，而產生與外加電動勢方向相反之反電動勢。

【反電壓】（ Counter voltage ）

凡變壓器中次級圈之電流通過次級時，會產生一些新的磁力線，並可在初級圈產生一新電壓，此新電壓與初級之自感電壓相差 180° ，故常稱之爲回頭電壓，又名反電壓。

【反照率】（ Albedo ）

是天體表面反射與入射光量之比值。水星的反照率是0.06 ，就是說照射在水星表面的太陽光，僅百分之六被反射出來，亦即星球放射能與反射能之比值。

【反對稱振動】（ Antisymmetric vibrations ）

分子中若有一對稱中心，則所有之正規振動對此中心反轉時，若不變號則爲對稱振動，若變號則爲反對稱振動。

【反對稱張量】（ Skew symmetric tensor ）

張量的分量適合於 $A_{ji}=-A_{ij}$ 者稱爲反對稱張量。

【反對稱轉動階】（ Antisymmetric rotational levels ）

振動能階的總角動量量子數爲奇數時，其波函數對質量中心反轉時函數變號，稱爲反對稱轉動階。

【反彈】(Recoil)

圖 4 — 113表示二物體A和B，中爲一壓縮彈簧，當此系統由靜止中釋放，此彈簧作用大小相等而方向相反的力於二物體，直至原來長度，而物體則繼續運動，此系統初動量爲零。如果摩擦力很小，而忽略不

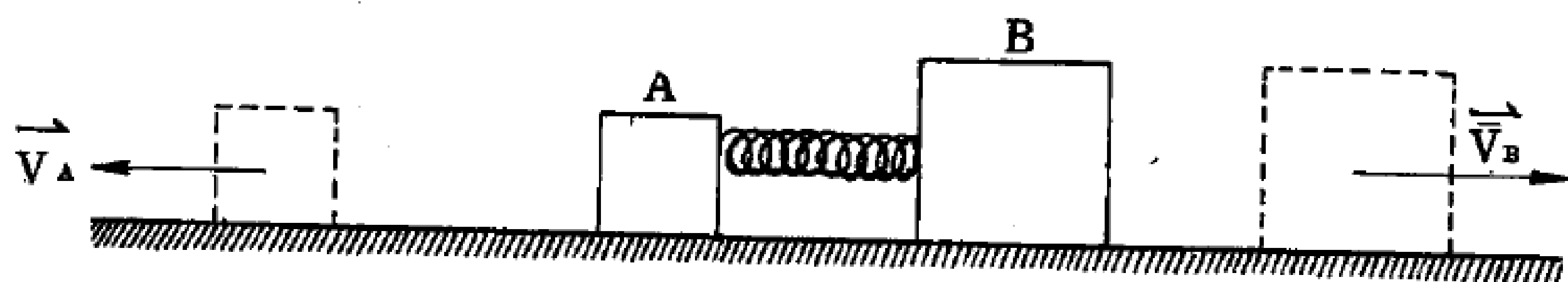


圖 4 — 113　反彈現象

計，此系統之合力仍爲零。

因此此系統之動量仍爲定值，等於零，如果$\overrightarrow{V_A}$和$\overrightarrow{V_B}$是A和B所獲得的速度，則

$$m_A\overrightarrow{V_A}+m_B\overrightarrow{V_B}=0$$

即

$$-\frac{m_B}{m_A}=\frac{\overrightarrow{V_A}}{\overrightarrow{V_B}}$$

速度的符號相反，與對應之質量成反比。

最初此系統之動能亦爲零，最後的動能爲

$$E_K=\frac{1}{2}m_A\overrightarrow{V_A}^2+\frac{1}{2}m_B\overrightarrow{V_B}^2$$

此能量來自彈簧最初彈性位能。動能的比值是

$$\frac{E_{KA}}{E_{KB}}=\frac{\frac{1}{2}m_A\overrightarrow{V_A}^2}{\frac{1}{2}m_B\overrightarrow{V_B}^2}=\frac{m_A}{m_B}\left(\frac{\overrightarrow{V_A}}{\overrightarrow{V_B}}\right)^2=\frac{m_B}{m_A}$$

雖然動量大小相等，動能與對應質量成反比，小質量物體獲得較大的初位能。作用於物體之力大小相等，作用於同一時間，因此產生相等而相反的動量，此現象稱爲反彈。

【反磁共振】(Diamagnetic resonance)

在強大磁場中之共振與磁場方向成直角者稱爲反磁共振。

【反磁性】(Diamagnetism)

一磁場能對運動電荷施力，所以當一外施磁場作用於一物質時，在原子或分子中運動的電子，由於此外施磁場的作用而又感受到一力，因此使電子的運動受到擾亂。

磁場對原子中之電子的運動所產生的擾亂，相當於在原子中又感應一電流，此電流的方向使得它所感應的磁偶極矩的方向與磁場的方向相反，因爲這一效應與原子的方位無關，並且對所有原子言，均是如此，故可得到一個與電場中電極化相對比的結果，卽物質磁化的方向係與磁場的方向相反（註），這種性質，稱爲反磁性。所有物質都帶有反磁性，但在很多情況中，卻爲順磁性效應所遮蔽。但在反磁性物體中，由於各分子內電子的轉動軌道的配置不同，所以各個分子環流所發生的磁效應遂互相抵銷了。如將一反磁性物體（例如小鉍棒）置於一強力電磁鐵的磁場中，則其分子便會因此外在磁場的關係而發生一方向相反的感應電子流。此感應環流的平面係與外在磁場垂直。但根據楞次定律，由此環流所致的分子磁場，其方向乃與外在磁場者相反。又因爲電子在原子中的轉動不受歐姆電阻的限制，故除非外在磁場已經撤除，否則此環流及其所致的分子磁場是不會消失的。但外在磁場一經撤除，則二者亦隨之消匿；於是在電子罩內便會發生一方向完全相反的脈動感應，因而使剛才發生的電子環流又陷於停止狀態。由於鉍棒中的感應分子磁場的方向和外在磁場者剛好相反之故，所以與磁鐵的北極對峙者爲鉍棒的北極，而與磁鐵的南極對峙者爲鉍棒的南極。其磁力線進行的情形，略如圖4－114所示；結果鉍棒遂因磁力線的橫壓力而被推離$N-S$方向。此時，反磁性物體中的分子磁場和外在磁場重合在一起，因而減少了其內部的磁力線數；因此通過反磁性物體的磁通量比通過空氣中者要來得低

些。換言之，亦即反磁性物體的導磁係數要比 1 小些。

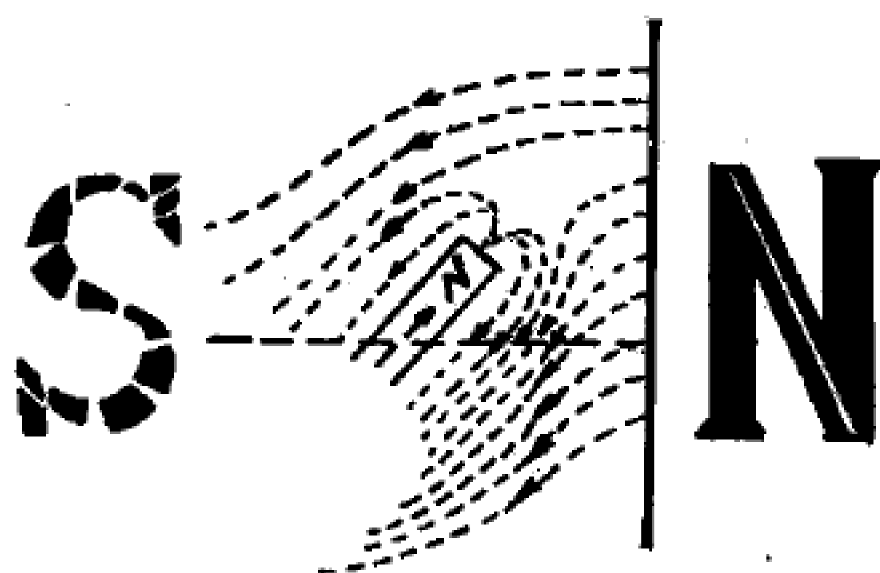


圖 4—114
由於磁力線垂直方向上的壓力，將小鉍棒帶至一與磁力線垂直的位置上。

【註】已知一電荷繞磁場中作圓周運動，它的角速度為

$$\vec{\omega} = -\left(\frac{q}{m}\right)\vec{B}$$

所以，當 $q = -e$ 時，則磁場內物質中一切子之電子，不論它們之軌，均可獲得一相同的額外角速度

$$\vec{\omega} = +\left(\frac{e}{m_e}\right)\vec{B}$$

如果 r 為電子運動軌道的半徑，則因電子運動而感生的磁矩為

$$\vec{I_n} = (-e)\left(\frac{\vec{\omega}}{2\pi}\right)(\pi r^2) = -\frac{e^2}{2m_e} r^2 \vec{B}$$

此磁矩與 $\vec{B}$ 反向，且對所有電子而言，因產生的效應皆有相同的方向，所以物質磁化方向與磁場的方向相反。

【反質子】(Antiproton)

反質子的產生，通常是由高能量質子與靜止質子的碰撞而得到的：

$$p + p \rightarrow p + p + p + \overline{p}$$

如要這個反應能發生，至少需要反應之前兩個質子之間的動能 T_p 能超過兩個質子的質量。即入射質子之動能

$$T_p \geq 6\, m_p\, C^2 = 5.64\ BeV$$

第一次在實驗室中，以此過程產生反質子者，為 1955 年加州大學所做。事實上，美國加州大學的貝伐加速器 (*bevatron*) 的製造，其目的之一就是去觀察反質子。在貝伐加速器內，質子可以被加速至約六十萬萬電子伏特 (6 *BeV*)，正好夠能量使上述的交互作用過程發生。當貝

伐加速器造好後，一羣實驗的物理學家，包括張伯倫（*Owen Chamberlain*）和沙格雷（*Emilio Segrè*），就開始工作。他們的實驗的裝置如圖4—115。貝伐加速器內的高速質子打在一個靶上。各式各樣的粒子都會跑出來。張伯倫和沙格雷設計了一套探測系統，來把反質子（如果存在的話）專門分出來。這套分離的系統一方面利用偏向磁鐵去選擇粒子的動量，一方面又利用計數器和符合電路（*coincidence circuit*）的連接。利用“飛行時間”的方法去選擇粒子的速度（並用契忍可夫計數器作進一步的選擇）。經過這樣嚴密的選擇後，張伯倫和沙格雷等發現，的確有一種帶負電而和質子同質量的粒子通過那些儀器，反質子的存在，因此就被證實；而張伯倫和沙格雷在 1959 年也因此而獲得了諾貝爾獎金。1956 年，反中子亦被發現。

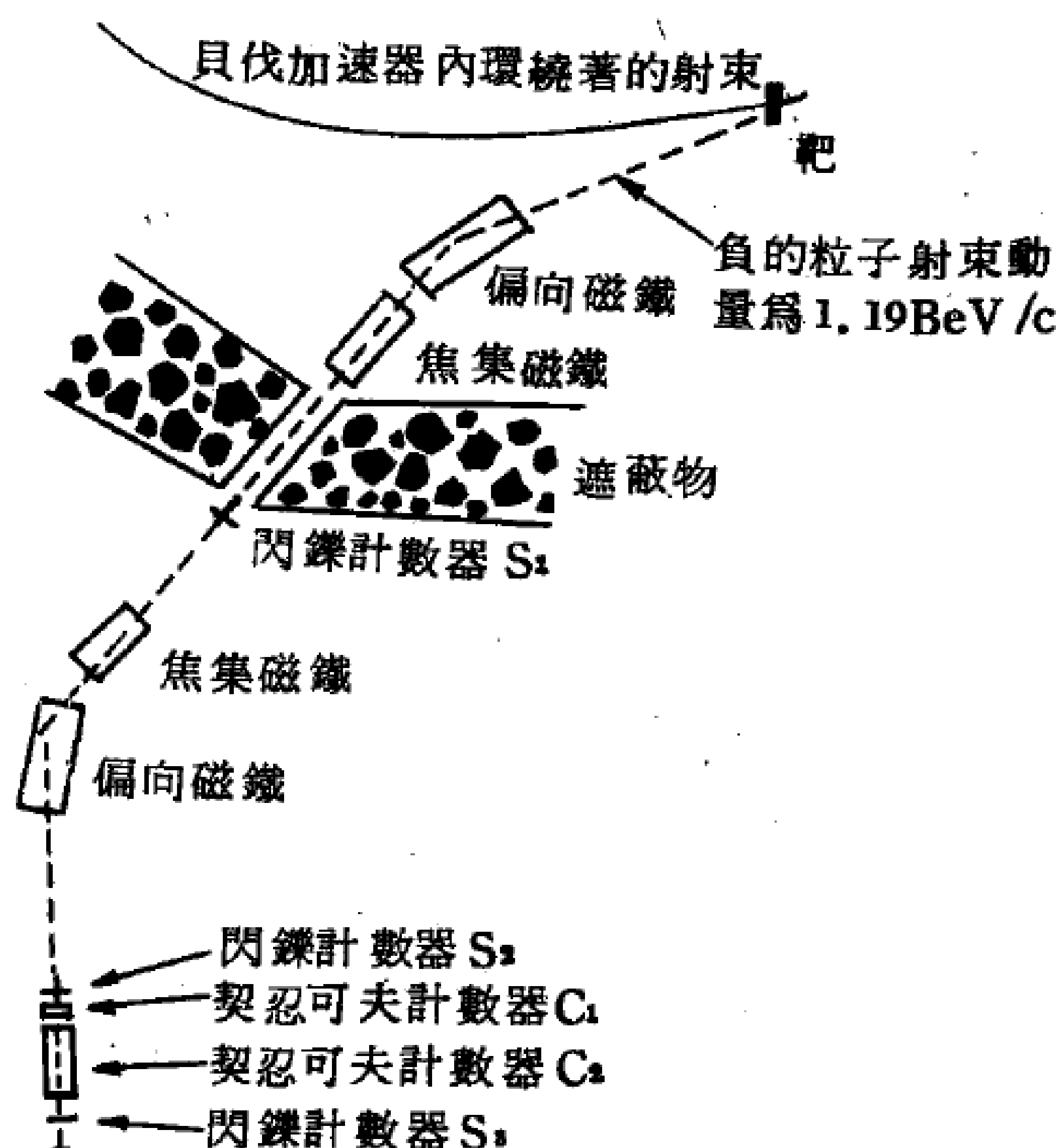


圖 4 — 115　反質子的實驗

【反諧振】（Anti-resonance）

通常指並聯諧振，因並聯諧振電路對諧振頻率有極大的阻抗。

【反應堆】（Pile）

核反應器（簡稱反應器）的舊名。此名詞之採用乃因第一座反應器是由石墨塊和天然鈾層層堆積而成的。

【反應率】（Reactivity）

在反應器中爲一個表示核反應器是否在臨界狀態的數目，其值約等於有效增殖因數減1。當核反應器在臨界狀態時，其值爲零；若爲過剩反應率（即反應率爲正值），則反應器在超臨界狀態，且功率上增；若反應率爲負值（即在次臨界狀態），則功率下降。

在考慮反應器內中子密度（或反應器的功率）隨時間變化的特性時，定義量ρ爲

$$\rho \equiv \frac{\Delta k}{k_{eff}} = \frac{k_{eff}-1}{k_{eff}}$$

式中ρ稱爲反應器的反應率，k_{eff}爲反應器的有效增殖因數。

通常，反應器到達臨界運轉狀態時$k_{eff}=1$，則$\rho \simeq \Delta k$。

因分裂而產生的中子，一部分爲延緩放出者，稱爲緩發中子（如以熱中子引發鈾－235分裂時，緩發中子成分爲$\beta = 0.0064$）。今若$\rho = \beta$，則可證明此刻反應器僅藉瞬發中子即可達到臨界狀態。緩發中子未能發揮其決定性的影響，因此時瞬發中子增加極速之故，當$0 < \Delta k < \beta$時，中子的增加速度大爲緩慢，因此刻緩發中子已有決定性影響之效。

考慮反應器週期T與反應率的關係，則爲

$$\rho = \frac{t^*}{T_p k_{eff}} + \sum_{i=1}^{m} \frac{\beta_i + t_i}{T_p + t_i}$$

式中ρ爲反應器的反應率，T_p爲反應器週期，t^*爲瞬發中子的壽命，β_i、t_i爲緩發中子的成分及其壽命。

【反應率溫度係數】（Temperature coefficient of reactivity）

當反應器的操作溫度發生變化時，每增減一度對於反應率所產生的改變，稱爲反應率溫度係數。如果反應率隨溫度的上升而增加，則該係數稱爲正溫度係數；反之，因溫度上升而減小者稱爲負溫度係數。因爲

負溫度係數可以阻止動力脫韁，所以我們希望反應器具有負溫度係數。

【反應速率常數】(Rate constant)

在一化學反應

$$aA + bB + \cdots \rightarrow cC + dD + \cdots$$

中，其中一步驟須 a 個 A 分子，則在此步驟開始進行時，A 分子消失的速率爲其濃度〔A〕的函數

$$-\frac{d[A]}{dt} = k[A]^a$$

a 爲反應階數 (*order of reaction*)，k 爲反應速率常數。在此式中，k 與 A 的濃度無關，但可能爲其他參與反應物質之濃度 (如〔B〕) 以及溼度的函數。

最簡單的一階反應或單分子反應 (*unimolecular reaction*) 中

$$A \rightarrow B + \cdots$$

$$-\frac{d[A]}{dt} = k[A]$$

$$[A] = [A]_0 e^{-kt}$$

故 k 可由 A 衰變的半衰期 $t_{1/2}$ 求得，即

$$k = \ln 2 / t_{1/2}$$

其他形式之高階反應的速率常數，亦可由類似方法解析之。

【反應熱】(Heat of reaction)

只由固體和液體所組成的可逆電池的熱力學方程式，能夠由相對應的化學系統方程式 (1) 式得到，只要將其中體積 V 改成電量 Z，壓力 P 改成電動勢 $-\varepsilon$ 即可，因此 TdS 方程式可改寫如 (2) 式。

$$TdS = C_V dT + T\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V dV \qquad (1)$$

$$TdS = C_Z dT - T\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial T}\right)_Z dZ \qquad (2)$$

而且如果一個飽和可逆電池的電動勢只和溫度有關的話，方程式又成爲

$$T\,dS = C_Z\,dT - T\frac{d\varepsilon}{dT}\,dZ$$

如果經可逆等溫過程而有電量 $Z_f - Z_i$ 的轉換，則熱能

$$Q = -T\frac{d\varepsilon}{dT}\,(Z_f - Z_i)$$

當正電荷經由外電路從正電極轉到負電極時，$Z_f - Z_i$ 爲負。在這過程中，電池供應能量

$$W = -\varepsilon\,(Z_f - Z_i)$$

如果有 jN_F 庫倫的正電荷經由外電路從正極傳到負極，這裏的 j 是電價而 N_F 是法拉第常數，則

$$Z_f - Z_i = -jN_F$$

因此 $$Q = jN_F\,T\frac{d\varepsilon}{dT}$$

而且 $$W = jN_F\,\varepsilon$$

根據熱力學第一定律，內能的變換爲

$$U_f - U_i = -jN_F\left(\varepsilon - T\frac{d\varepsilon}{dT}\right)$$

如果一個過程是等壓的，而且體積變化不大的話，內能的變化就和焓（*enthalpy*）H 的變化相等。因爲

$$H = U + PV$$

而且 $$dH = dU + P\,dV + V\,dP$$

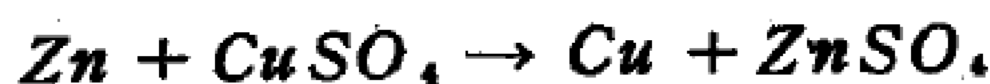
因此，在前面規定的條件下

$$dH = dU$$

所以如果一個可逆電池中有 jN_F 庫倫的電量變化，而且等壓過程時體積沒有多大改變的話，我們可以寫爲

$$H_f - H_i = -jN_F\left(\varepsilon - T\frac{d\varepsilon}{dT}\right)$$

爲了瞭解其變化，玆以丹尼耳電池（*Daniell cell*）爲例。正電經由外電路從銅極到鋅極的變化是爲下列反應



$$Zn + CuSO_4 \rightarrow Cu + ZnSO_4$$

每當有 jN_F 庫倫的電荷移動，就有1摩爾的起始物質消失，1摩爾的終結物質構成。這個時候的焓改變，就等於在同溫同壓時的1摩爾的終結物質的焓減掉1摩爾起始物質的焓。這就叫做反應熱，我們用 ΔH 表示。因此

$$\Delta H = -jN_F\left(\varepsilon - T\frac{d\varepsilon}{dT}\right)$$

如果是飽和可逆電池還放出氣體的話，則我們可正確導出

$$\Delta H = -jN_F\left[\varepsilon - T\left(\frac{\partial\varepsilon}{\partial T}\right)_P\right]$$

這個方程式重要的地方是它提供一個不用量熱學來測量化學反應的反應熱。如果這個反應能夠安排在電池中進行的話，我們所要做的事，就只是測量在定壓時電池的電動勢的溫度函數。因此我們可以用溫度計和電位計量出反應熱。這兩種量度都可以做得很正確；所以這種辦法一直到目前還是量反應熱最好的辦法。我們可以比較用電的方法和量熱學的辦法量到的 ΔH 值。大部分的 ΔH 值是負的。負 ΔH 就表示喪失熱能，也就是放熱反應（*exothermic reaction*）。

【反應器】（Reactor）

反應器通常是指核反應器（*nuclear reactor*）。此反應器爲由核燃料及其他裝置組合而成的特殊裝置，在此特殊裝置中可控制核分裂鏈反應，使之持續不斷發生，同時放出大量的熱量。反應器的構成如圖4－116所示，不外有一含分裂物質（即核燃料）的爐心、控制系統、冷

卻系統及放射線屏蔽系統等。反應器之分類可依其用途分為功率反應器、研究用反應器、生產同位素或分裂物質（如鈽－239）及供試驗材料用反應器等。又可依其所用緩速劑或冷卻器分為重水、沸水、壓力或氣冷式反應器等。

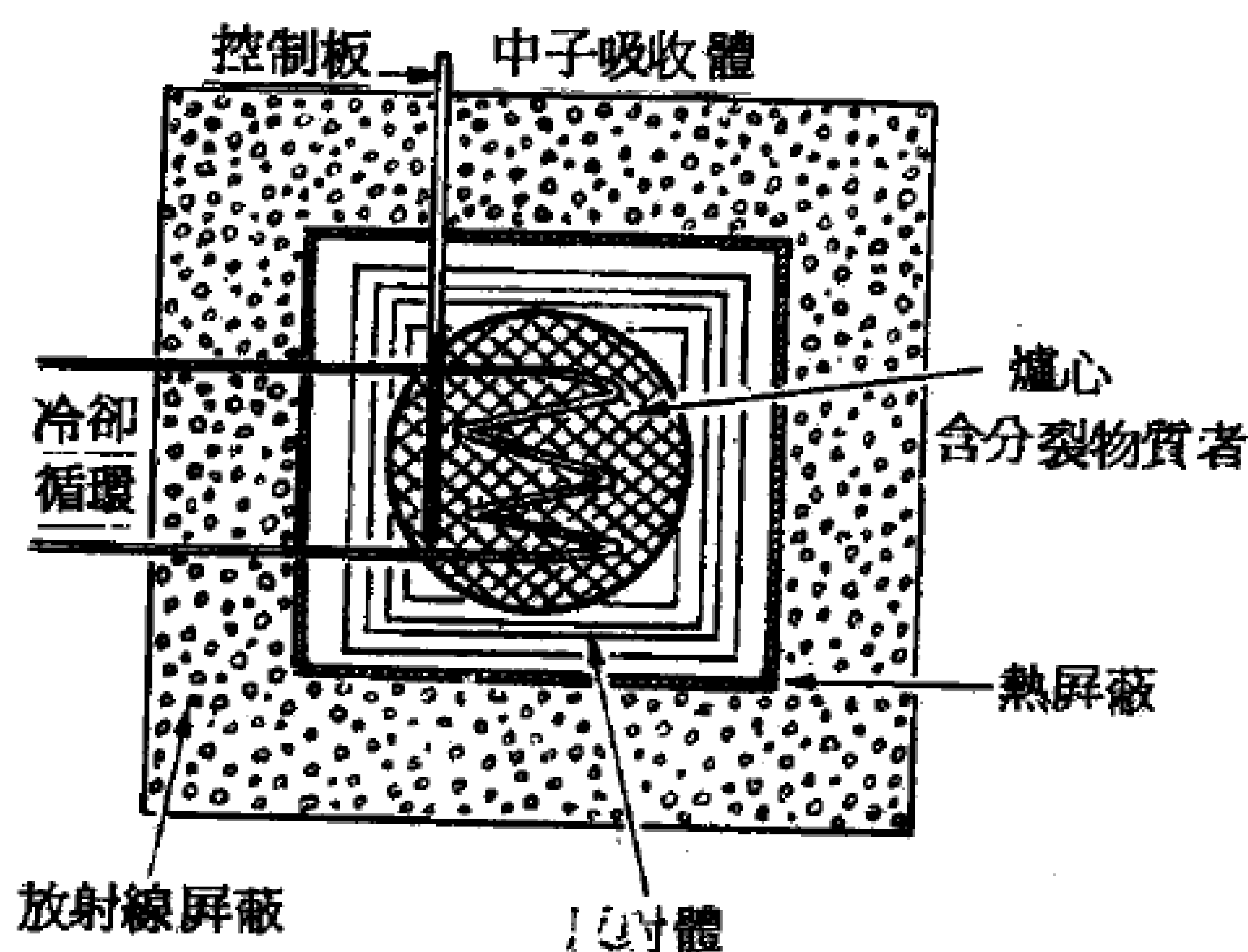


圖 4－116　反應器

【反應器中毒現象】（ Poisoning of reactor ）

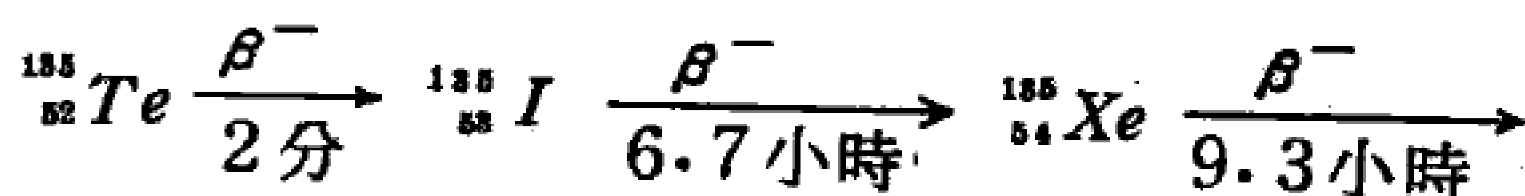
在反應器運轉時，其分裂產物及分裂產物衰變後的產物，隨時間而逐漸增加。部分產物對中子具有較高的吸收截面，而影響中子的數量，減低可用中子數目，此謂之反應器中毒現象。對熱中子而言，有兩種元素，其吸收截面特別大，即是

$^{135}_{54}Xe$ ：σ_a (th) = 3.5 × 10^6 邦

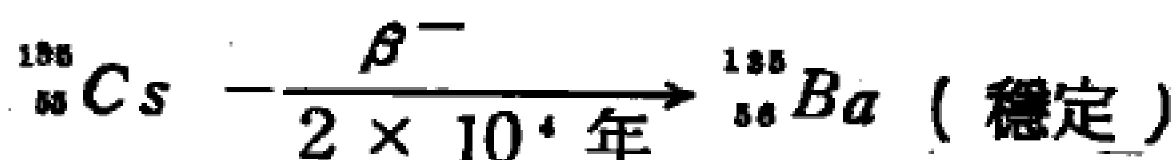
半衰期 $T_{1/2}$ = 9.3 小時

$^{149}_{62}Sm$ ：σ_a (th) = 5.3 × 10^4 邦

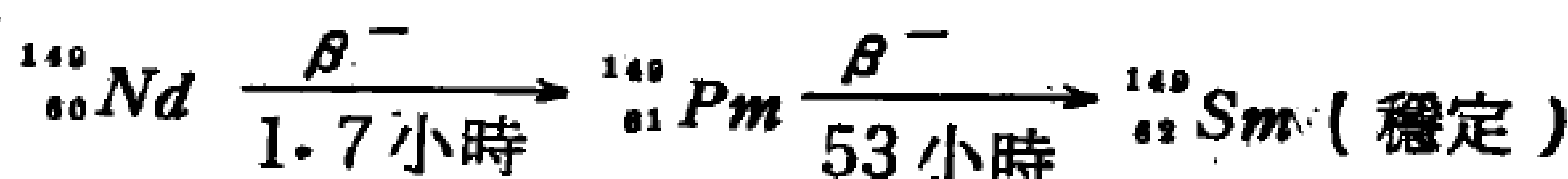
這兩種元素由分裂產物 $^{135}_{52}Te$ 及 $^{149}_{60}Nd$ 衰變而生成：



$$^{135}_{52}Te \xrightarrow[2分]{\beta^-} {}^{135}_{53}I \xrightarrow[6.7小時]{\beta^-} {}^{135}_{54}Xe \xrightarrow[9.3小時]{\beta^-}$$



$$^{135}_{55}Cs \xrightarrow[2\times10^4 年]{\beta^-} {}^{135}_{56}Ba \text{（穩定）}$$



$$^{149}_{60}Nd \xrightarrow[1.7小時]{\beta^-} {}^{149}_{61}Pm \xrightarrow[53小時]{\beta^-} {}^{149}_{62}Sm \text{（穩定）}$$

故通常考慮熱中子反應器之中毒現象，主要乃由這兩種元素所引起。表

示中毒現象的量爲

$$P_0 = \frac{\Sigma P_0}{\Sigma u} = \frac{X(t)\sigma_a}{\Sigma u}$$

式中$X(t)$表在時間爲t時，分裂產物對熱中子吸收機率較大者（如^{135}Xe）在反應器中的密度，σ_a爲其吸收截面，Σu爲鈾對中子的吸收截面。在熱中子反應器中P_0的最大值可達0.05。

反應器運轉一段時間再停止後，其中$^{135}_{54}Xe$的密度最初上升，直至反應器停止後12 小時，其密度達顚峯值。然後逐漸減少。此現象影響反應器於突然停止後，較難立卽再行起動，因此必需較高的反應度克服此中毒現象。

【反應器動力學】（Reactor kinetics）

反應器動力學乃研究反應器增殖因數隨時間改變的情形。如在反應器起動與停止運轉，或欲升高及降低其功率時，均應改變增殖因數。故在研究反應器的穩定性及可控制性時，反應器動力學爲其基礎。在反應器動力學中，包括一些能由實驗獲得的數據，如反應率、反應器週期、瞬發中子的平均壽命、緩發中子的成分及其壽命等。因此包含實驗與理論的探討。

一般言之，在反應器中，緩發中子放出的時間，常在分裂反應後數以秒計的時間內，此時間遠大於中子擴散或與周圍物質相互作用而生反應的時間。故在研究反應器動力學時，恆區分成兩個時間區間，一爲極短的時間區間，在此期中，中子密度已有甚大之改變，而緩發中子並無多大改變。另一爲較長時間區間，此時緩發中子已有甚顯著改變。

由於有緩發中子，使我們能有效控制反應器增殖因數的改變。

【反應器週期】（Period of reactor）

反應器週期乃是反應器中的中子密度（或通量）有e倍（e = 2.71828）的改變時所需之時間。反應器週期與反應率的關係如下：

$$\rho = \frac{l^*}{T_P} + \sum_{i=1}^{6} \frac{\beta_i}{1 + \lambda_i T_P}$$

式中 $\rho = \dfrac{k_{eff} - 1}{k_{eff}}$ 爲反應器的反應率，k_{eff} 是反應器實際的增殖因數；

$l^* = 1/k_{\infty} v \Sigma_a$ 爲不計緩發中子影響時的中子壽命；

T_P 爲反應器的週期；

β_i 、λ_i 爲第 i 組緩發中子的分數值及其衰變常數。

由此式可知若反應率 ρ 較大，則 T_P 會隨之減小。式中右端第一項表示瞬發中子的影響，第二項表示緩發中子的影響。在反應率甚小時，第二項遠大於第一項，故緩發中子對反應器的控制有極大的影響。

【反應機構】(Reaction mechanism)

通常有兩種意義：

1. 反應動力學中常將一複雜反應分別爲數個簡單的一步反應 (*one-step reaction*)。全反應中各簡單反應的形式及其順序稱爲反應機構。

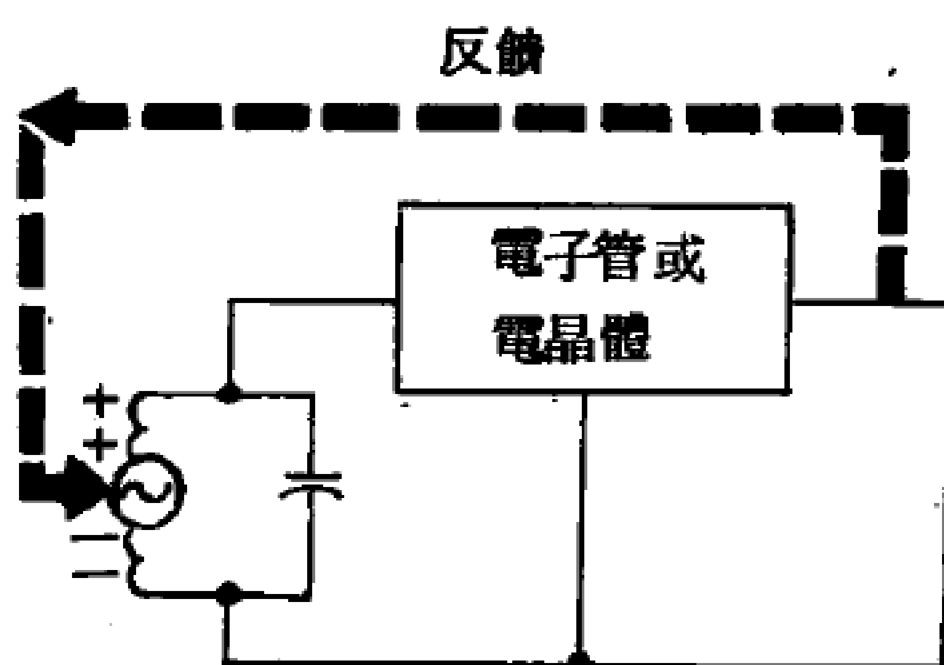
2. 在絕對速率理論 (*absolute rate theory*) 中假設反應物分子先生成活化物 (*activation complex*) ，活化物分解即得生成物。反應機構指反應物如何將其化學鍵重組以形成活化物的過程。

【反饋】(Feedback)

又稱回授，LC 振盪器槽路內之循環電流，即靠電子管或電晶體之輸出，反饋至槽路所維持。此反饋電壓必須符合兩個條件：(1)須有足夠之大小以補償槽路內之 I^2R 損失，(2)其極性必須與槽路內產生之瞬時電壓相加 (即相位相同)。

I^2R 損失視槽路內之直流電阻而定，故直接於槽路內之 Q 值有關。所謂 Q 高，即表示電阻小，故 I^2R 損失低，維持振盪所需之再生反饋電壓小。反之如 Q 低，即電阻大，I^2R 損失大，必需較大之反饋。

反饋電壓之極性必須使槽路內之循環電流增加才對，完成此一任務之方法有數種。最簡單之方法，要使槽路內感應之反饋電壓，與槽路電流在線圈上所產生之瞬時電壓相加。圖4—117內反饋電壓，即用與槽路線圈相串聯之交流發電機代表之。



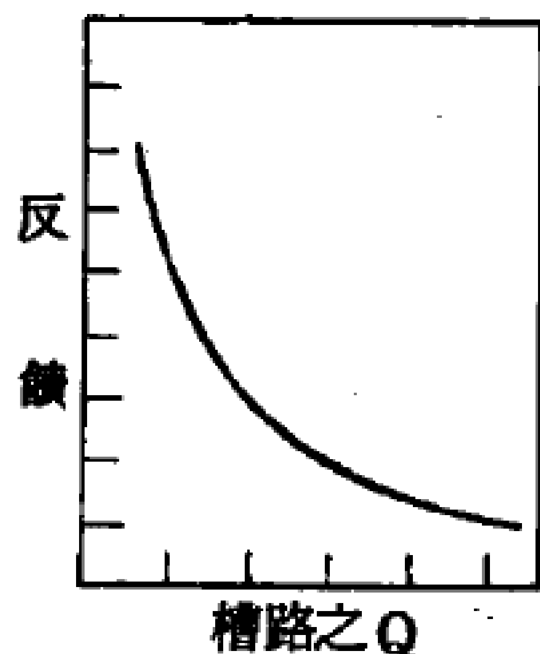


圖4—117　反饋

【反饋放大器】(Feedback amplifier)

在技術上說，反饋就是將部分的輸出能量送回而成爲輸入能量。如果反饋的設計良好，任何優良的控制程序都可達成。爲了達到某種控制程序，而將輸出的部分能量，在此種安排下，系統的輸入完全取決於輸出的反饋，如此的系統稱爲閉環式控制系統 (*closed-loop control system*)，也可能是目前最有效的控制系統。蒸汽機的調速器則依輸出的速率，調節蒸汽流，帶動飛輪，因而控制速率。恆溫器 (*thermostat*) 可視室溫的需要而自動調節空氣調節器。

在一放大電路中，將輸出電路一部分電壓送回輸入電路，該電路即稱爲反饋放大器。當放大器用了反饋原理後，反饋作用將放大器所產生的失眞減低，當供電線的電壓有微少變化，或電子管用得過久而放大器增益有不穩定的現象時，也可由反饋原理來解決。爲了瞭解何以反饋作用有如此大的神效，必需先將兩種不同的基本反饋加以區別：一是再生

反饋（*regenerative feedback*）或稱正反饋，另一爲退化反饋（*degenerative feedback*）或稱負反饋。當反饋的信號（電壓或電流）與輸入信號同相，則反饋信號與輸入信號相加，這就是所謂的正反饋。如果反饋的信號（電壓或電流）與輸入信號反相，則輸入信號與反饋信號有相互抵銷的作用，這就是所謂的負反饋。在負反饋電路中亦有將矯正的反饋信號藉輸出電流予以控制者稱爲電流負反饋（*negative current feedback*）。正反饋可使放大器的增益增加，但同時失眞增大，如果反饋能量過大，將使放大器產生振盪。相反的，負反饋可減低放大器的增益及失眞。

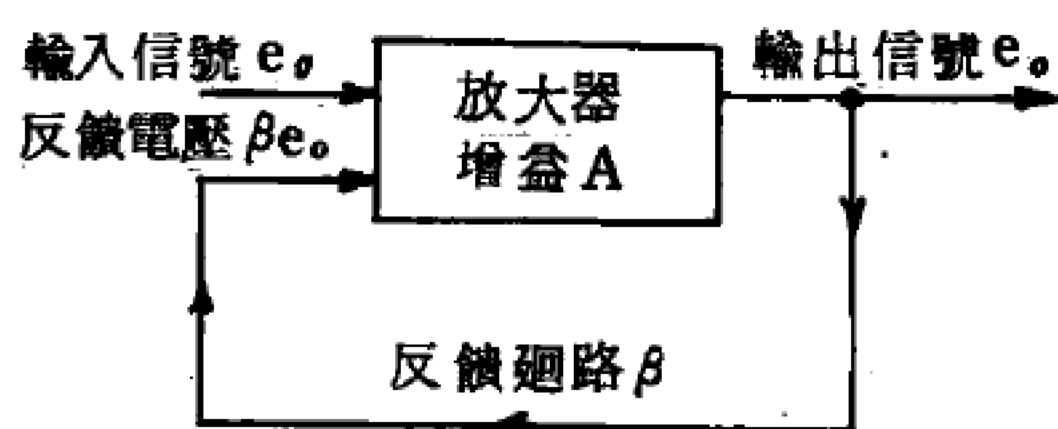


圖 4 — 118　反饋放大器結構圖

從圖 4 — 118 瞭解，沒有反饋時，放大器的增益爲 A，但輸出電壓（e_0）的 β 倍電壓被反饋到放大器的輸入端。實際的輸入電壓爲輸入信號電壓 e_g 與反饋電壓 βe_0 的和，也就是 $e_g + \beta e_0$。總輸入電壓（$e_g + \beta e_0$）乘放大器的增益（A），必需等於放大器之輸出電壓（e_0）。因此可得公式：

$$(e_g + \beta e_0) \times A = e_0$$

但是由於放大器的電壓增益是輸出電壓 e_0 與輸入信號電壓 e_g 之比，依照電壓增益定義，即可利用上式得到反饋放大器的電壓增益：

$$\frac{e_0}{e_g} = \text{反饋放大器之電壓增益} = \frac{A}{1 - \beta A}$$

A 是沒有反饋時的放大器電壓增益。

關於上式，βA 表示反饋電壓的大數量，有時也稱 βA 爲反饋因數（*feedback factor*），當此 βA 與輸入信號 e_g 的和，就是放大器的總輸入信號電壓。如果上式中的 βA 越大，分母就越小，因此反饋放大器的增益也就增加。但是正反饋放大器的增益增大，同時失眞及雜波的

強度也成正比例的增加，所以正反饋除了用在振盪器外，其他方面幾乎不被大家所採用。

負反饋時，β 以及 βA 都爲負值（$-\beta A$），所以：

$$\frac{e_o}{e_g}=\text{負反饋放大器之電壓增益}=\frac{A}{1+\beta A}$$

因此，反饋因數 βA 越大，反饋放大器的增益就越小，同時放大器所造成的失眞也就減小。如反饋因數 βA 比 1 大很多，上式的分母就可以用 βA 代替 $1+\beta A$，因此上式變成：

$$\text{高負反饋時之電壓增益}=\frac{1}{\beta}$$

在 β 可以代替 $1+\beta A$ 的情況下，反饋放大器增益十分小，僅是 β 的倒數，與放大器本身的實際增益 A 無關。這種事實可以解釋爲實際放大器的總輸入電壓是輸入信號電壓（e_g）與反饋電壓（βe_o）的差，如果由於某些原因，使放大器的放大增加，反饋電壓 βe_o 也會增大，輸入信號電壓與反饋電壓的差就小，因此可抵銷放大器所增加的增益，而得到一個穩定的輸出。反之，如果放大器的放大減小，也能得到一穩定之輸出。

當反饋放大器的反饋電壓很大時，放大器的增益非常穩定，並且與微小電源電壓的變動、電子管的新舊無關，再者，增益完全受反饋率 β 所控制。如果反饋率 β 是經由一電阻網路得到，只要反饋是負值，反饋電壓與電壓增益皆不隨頻率之變化而變動。所以通常認爲負反饋可增進放大器的頻率響應。但是此種負反饋對於放大器頻率響應的增進亦非絕對的，因此放大器的各種元件都可以使輸出電壓產生相移，並且可能使負反饋變爲正反饋，尤其是在聲頻頻率範圍時，此現象更爲明顯，因此往往使退化反饋（負反饋）的作用消失。

如果反饋電路是由電容或電感元件構成，在不同的頻率時就可以得

到不同的反饋，因此任何頻率響應都可能得到。所以在聲頻放大器電路中往往利用反饋電路，以增大低音的頻率的響應。同樣在唱片的錄音曲線，也可利用適當設計的反饋電路予以補償。

【反饋因數】(Feedback factor)

反饋因數代表反饋電壓（ e_f ）對於放大器輸入電壓數之比，採用負反饋時，輸入放大器的電壓數爲 $e_s - e_f$ ，其公式如下：

$$\beta A = \frac{e_f}{e_s - e_f}$$

式中 βA 表反饋因數，e_s 表輸入電壓（伏特），e_f 表反饋電壓（伏特）。

參閱“反饋放大器（ *Feedback amplifier* ）”條。

【反饋電容器】(Feedback capacitor)

在屏路加入一電容器，使輸出電力藉它回輸一部分給柵路。

【反饋電路】(Feedback circuit)

又稱回授電路，有些振盪器必須在頻率每秒超過 1,000,000,000 赫工作，很明顯地，沒有任何一種機械開關能在如此高速度下工作。所以要解決在適當的時間供給電能，惟有應用眞空管電路了。

將 LC 電路連接至眞空管的柵極，振盪電壓可予放大，如將放大電壓的一小部分在適當相位時間反饋至 LC 電路，便能有足夠的電能反饋至 LC 電路克服電阻損耗，振盪即可繼續維持。在振盪器中所用眞空管本身並不作任何振盪之用（振盪僅由 LC 電路完成），眞空管僅供給適量的推力而已。

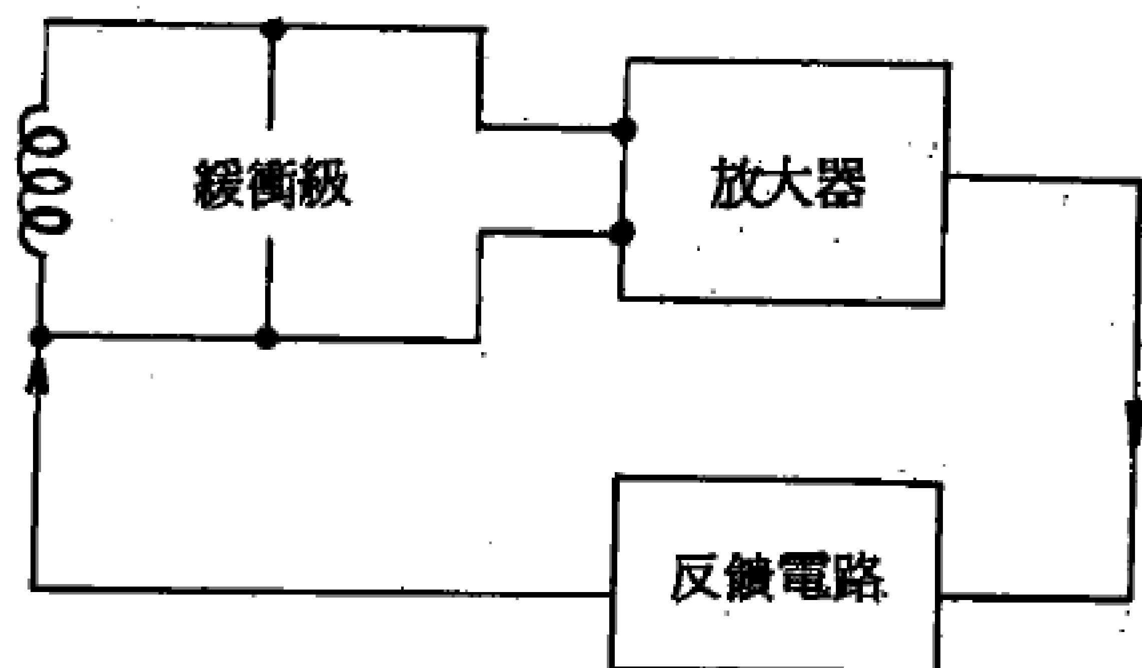


圖 4 — 119

放大管維持L C電路的振盪

所有振盪器的工作原理，均如圖 4 — 119所示。各種振盪器主要的差別是將適當相位的反饋電壓加至 L C 電路的方法不同。

【反饋耦合】(Feedback coupling)

擔任將已放大之輸出電力，復回輸於輸入電路的耦合電路組織。

【反饋線圈】(Feedback coil)

在屏路加入一線圈，使此線圈與柵圈耦合，將部分電力回輸給柵路。

【反鐵電性】(Antiferroelectricity)

鐵電性位移並不是電介質晶體的唯一型式，另一種變形叫做反鐵電性，乃是相鄰離子有不同的位移方向，如圖 4 — 120 (*b*)所示。一方塊代表構造細胞單元，如圖 4 — 120(*a*)中正離子位移都指向一方，是鐵電性的特性；圖 4 —120 (*b*) 中相鄰直線有不同的極化方向，故合成自發極化量爲零（圖中只繪出正離子的位移）。這雖然是有秩序排列的永久電變極矩，但卻毫無巨觀的極化特性，通常只發生在低溫狀態，高於轉變溫度則和鐵電性晶體一樣，趨向於順電性。相鄰離子的極化量若由於種類的不同或其他原因，使得兩者的極化量不相等而不能抵銷時，稱之爲準鐵電性（ *quasi-ferroelectric* ）或鐵淦氧電性（ *ferroelectric* ）。

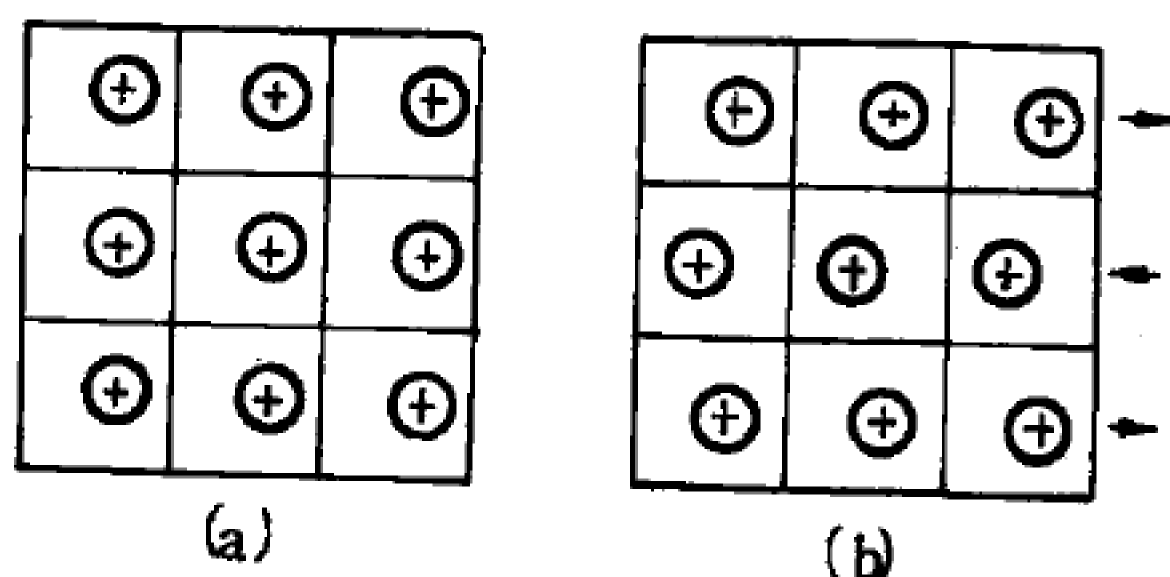


圖 4 — 120

【反鐵電性晶體】(Antiferroelectric crystals)

這是一種具有相變化現象的物體，它的晶體結構和鐵電物相似，在高溫時，反鐵電性物體呈順電的性質（即減小溫度，介質係數則增高）。在轉換溫度以下，無自然極化的存在，介質係數甚爲微小，顯示這種轉換牽涉到介質極化的改變。從X光分析中，我們發現在轉換點以下有

“超結構”的存在，這種超結構可能意味著多重的結構單元。假使超結構能以含有相等且相反極化量的次格子來描述的話，這種晶體就稱爲反鐵電性晶體。換言之，相鄰格子的離子有相反方向的極化量，使得兩者互相抵銷，雖然同方向的離子都在飽和極化狀態，但是合成極化量爲零。在轉換溫度以上，這兩種次格子則完全相等，而且可以認爲是尚未極化，故呈順電性質。具有反鐵電性的 $NaNbO_3$、$PbZrO_3$ 等都和 $BaTiO_3$ 或 $KNbO_3$ 有相同的晶體結構，但前者在轉換點以下趨向於反平行以降低其能量，這類情形正和鐵磁物與反磁物相似。

【反鐵磁性】(Antiferromagnetism)

由於相鄰磁變極之原子磁矩互相反平行的結果，使一種有秩序排列的磁性固體毫無巨觀的磁化量，這種排列方式所造成的性質就是反鐵磁性，如圖 4 — 121 所示。

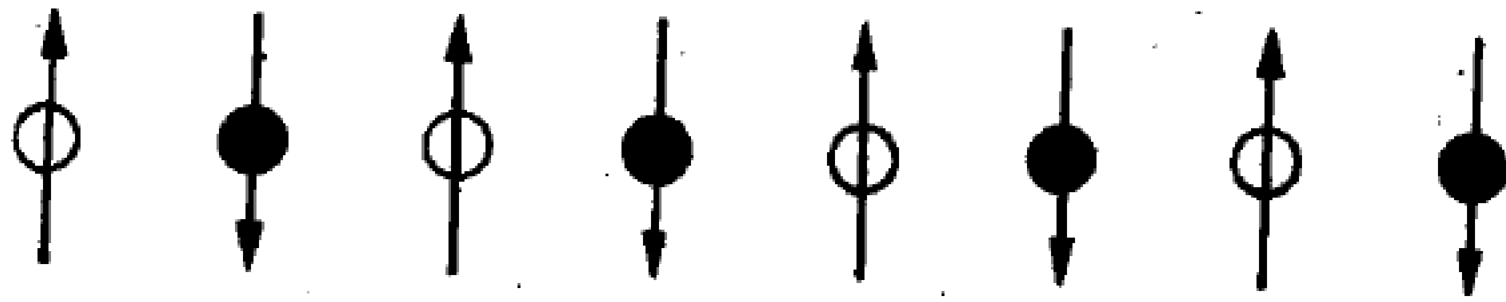


圖 4 — 121　反鐵磁性

對於反鐵磁物，要在倪耳溫度 (*Neel Temperature*) 以下才能表現出這種特性來。在這種情形下，三維空間的磁性離子排列造成所謂的磁性次晶格，互相反對對方的磁化。有一些晶體構造，必須要用三個或更多次晶格來解釋，但我們只以 $RbMnFe_3$ 的兩個次晶格爲例，如圖 4

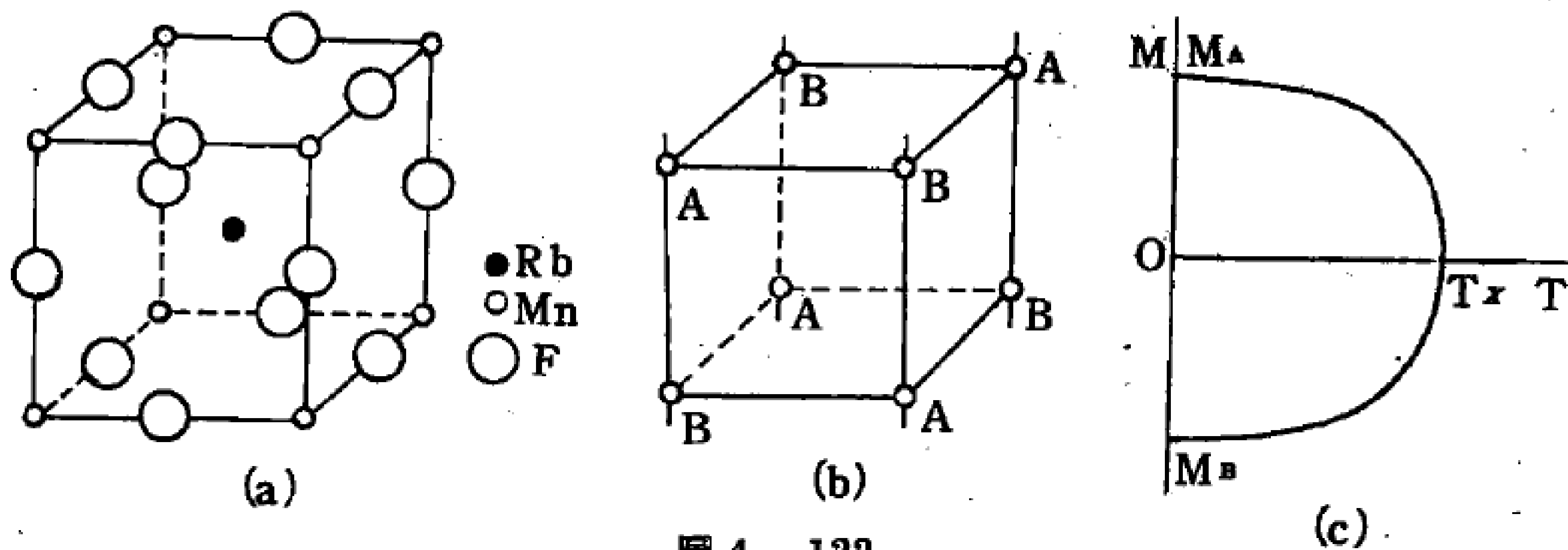


圖 4 — 122

—122 (a) 代表$RbMnO_3$的晶體結構，只有Mn^{++}離子有磁性，晶體的結構允許將Mn^{++}分爲“ A ”次晶格（每一個晶格有六個最近鄰居，都是“ B ”類的次晶格）和“ B ”次晶格（只有“ A ”次晶格爲鄰居），如圖4—122(b)所示。最近負離子的交換作用，使A和B晶格的自然磁化量相反，而大小相等（圖4—122(c)），故晶格外所產生的磁場爲零。在絕對溫度時，這種反排列最完全，增高溫度則逐漸破壞。到倪耳溫度時，反鐵磁的特性就完全消失。

【反鐵磁磁子】（ Antiferromagnetic magnons ）

最簡單的反鐵磁物的基態是使所有自旋皆反平行，由於離子之間負的交換作用而造成自旋系統的基本激發（即激發的量子化能階），這種激發態有波動的形式，稱之爲自旋波。當能量被量子化時，則稱爲磁子。這種情形，就與聲子是描述晶體格子振動的基本激發子一般。對於每一不同的波向量$\vec{k}$，有不同的磁子頻率ω_k。若被激發的$\vec{k}$磁子之數目爲n_k，則系統的總能量爲

$$E=\sum_k \epsilon_k=\sum_k n_k \hbar\omega_k$$

正與聲子的情況相若，這是所有基本激發子的通性。波向量$\vec{k}$與頻率ω的關係稱之爲色散關係。對於反鐵磁磁子而言，在$\vec{k}$相當小時，ω與$\vec{k}$成線性關係。這和鐵磁磁子的色散不同，他們的關係是ω與k^2成正比。

【反變張量】（ Contravariant tensor ）

坐標由（x^1，x^2，…x^n）變成另一坐標系中的（$\bar{x}^1$，$\bar{x}^2$，……，$\bar{x}^n$）時，若（A^1，A^2，…，A^n）中各量依下述方式變換

$$\bar{A}^i=\frac{\partial \bar{x}^i}{\partial x^r}A^r,\quad i=1,2,\cdots n$$

則A^1，…，A^n稱爲一階反變張量的各分量。在上式中，i，r等記號並不代表指數（即A^r並非A的r次方），只是用以表示分量的上誌。此

外，上式中也引用愛因斯坦求和規則。

高階反變張量以相仿方式定義，例如二階反變張量的分量是下式變換：

$$A^{-ij}=\frac{\partial x^{-i}}{\partial x^{r}}\frac{\partial x^{-j}}{\partial x^{s}}A^{rs}$$

【反變層】(**Reversing layer**)

指緊接在太陽光球面上所蒙的氣層。

參閱“太陽 (*Sun*) ”條。

【天文三角形】(**Astronomical triangle**)

過某星之時圈，天子午線過該星之時圈在天球上交成之球面三角形，稱爲天文三角形。在天文學之推算上及航海天文學上甚爲重要，如圖4—123。PP'爲赤極。$NDSE$爲天空地平界。Z爲天頂。S爲正南點。N爲正北點。E爲正東點。W爲正西點。AB爲天赤道。NPZ爲天子午線。M爲某星。$ZMDZ'$爲過M之垂圈。$PMRP'$爲過M之時圈。三角形PZM卽爲天文三角形。此三角形各邊各角之關係如下：

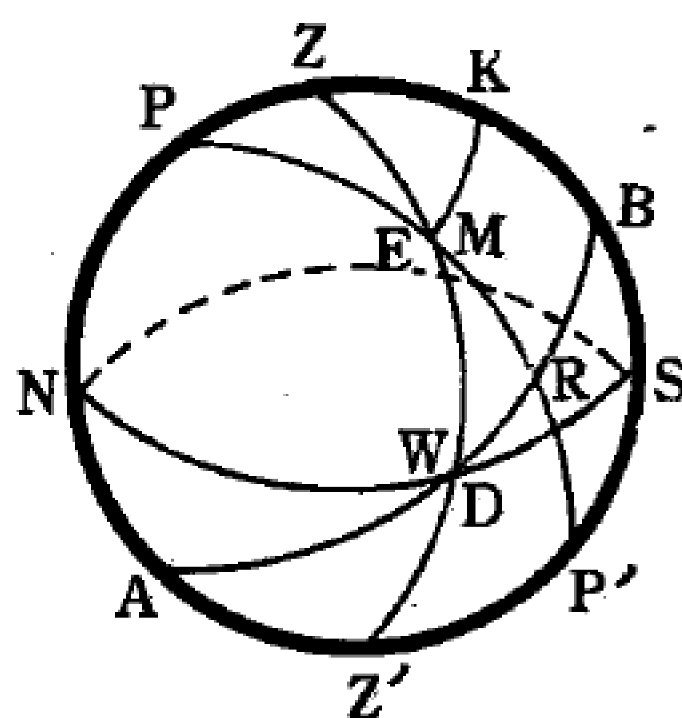


圖 4 — 123

$PN=l=$極出地度$=$觀察地之地緯度

$\angle MZB=a=M$之地平緯度

$MR=d=M$之赤緯度

$MD=h=$高度

【天文日】(**Astronomical day**)

天文日爲自午時至次日午時之一日。而民用日 (*civil day*) 則自半夜起。故天文日之起始較民用日遲十二小時。每日分爲二十四小時。自零至二十四。以天文日計時謂之天文時。

【天文地平圈】(Astronomical horizon)

通過地球中心與天頂天底聯線垂直大圓。

【天文望遠鏡】(Astronomical telescope)

放大鏡及顯微鏡，能使人眼觀察到平常不易接近的微小領域。而另一種光學儀器——天文望遠鏡，則相反的向邈遠的太空，揭開其門戶。

使用天文望遠鏡的目的大概有三種：

1. 作成星像，放大以後，從事目視觀測或爲攝影觀測。
2. 集合多量星光，送到光度計或分光儀去。
3. 定天體的方向。

天文望遠鏡所形成的星像雖然倒立，但沒有什麼關係，所以沒有普通望遠鏡爲使物像正立所添加的透鏡或稜鏡，而光的吸收少。有折光望遠鏡(*refracting telescope*)和反光望遠鏡(*reflecting telescope*)兩種。用法有目視和攝影的區別，裝置方法有地平經緯式(*altazimuth mounting*)和赤道式(*equatorial mounting*)兩種。

【Ⅰ】折光望遠鏡

玆以刻卜勒式望遠鏡的構造爲例：這種望遠鏡是由德國天文學家刻卜勒(*Johannes Kepler*)於1611 年發明的，但第一架見用於世者，則是由德國耶穌會敎士夏納(*Scheiner*)設計完成的。那是一種裝有兩組透鏡的望遠鏡；其目鏡及物鏡實際上仍是透鏡組(見圖 4 — 124)。

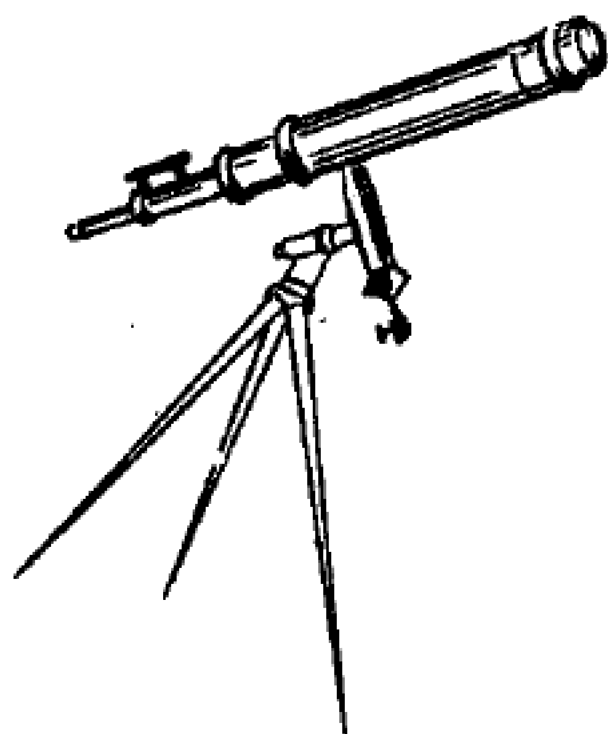


圖 4—124

這種儀器的成像方式和照相機完全相同(見圖 4 — 125)。物鏡 *Ob* 給位於極遠方的物

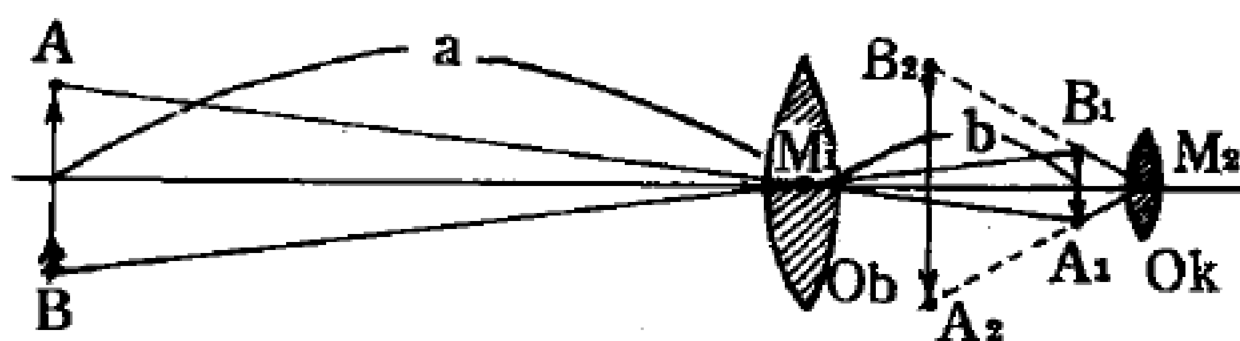


圖 4—125 刻卜勒式天文望遠鏡

體 AB 造成倒置而縮小的像 B_1A_1，後者係位於近焦點之處。是以圖 4－125完全是象徵性的，取其便於說明而已。然後利用目鏡 Ok 加以觀察；因目鏡有放大作用，故可看成放大之像 B_2A_2。由此可見，B_1A_1 應在目鏡 Ok 的焦距範圍以內生成，實際上多位於焦點附近。爲簡便起見，圖中僅引用中心光線以繪製 B_1A_1 像。

物鏡之焦距愈大，則由物鏡造成之像 B_1A_1 亦愈大。我們知道在會聚透鏡中，物 AB 與像 B_1A_1 大小之比乃等於物距 a 與像距 b 之比。

由於物距 a 較大時，像距 b 必接近於物鏡之焦距 f，故如焦距 f 愈大，像距 b 亦必愈大。因此，在物距不變的情況下，像高亦隨焦距之增加而增大。

由於此理，一架效率良好的刻卜勒式望遠鏡，其鏡筒必是很長的。望遠鏡鏡筒之長度約等於物鏡與目鏡的焦距之和，即 $l = f_1 + f_2$。這是因爲由物鏡所成之像 B_1A_1 是在物鏡焦點的附近，而同時又在目鏡焦點附近造成的緣故。換句話說，爲使此像可用目鏡強力放大，此像必須位於目鏡焦距以內，但同時又須在目鏡焦點的附近。由此可知，物鏡與目鏡之距離約等於其焦距之和。

爲求獲得最大之亮度，望遠鏡的孔徑（即物鏡）亦必愈大愈好。

所以折光望遠鏡的價值是以物鏡的大小而定，普通所說的口徑若干厘米（*cm*）望遠鏡就是指物鏡的口徑而言。口徑大小所用的放大率（*magnifying power*）有一定的限度；超過它的限度則星像反而不清楚。口徑 3公分的望遠鏡，放大率約以 50 倍爲限。肉眼所能看見的天體，以六等星爲限，但是用 10 厘米望遠鏡可以看到十二等星；25厘米者可看到十四等星，40 厘米者可看到十五等星，65 厘米者則可看到十六等星。折光望遠鏡適宜於目視觀測和精密的測定。現在世上最大的折光望遠鏡爲美國芝加哥附近的葉凱士天文臺（*Yerkes Observatory*）的102厘米（即 40吋）口徑、19米長的天文望遠鏡；其次爲加里福尼亞

州韓密登山上的立克天文臺(*Lick Observatory*)的92厘米(即36吋)口徑、18米長之天文望遠鏡。

【Ⅱ】反光望遠鏡

用凹面反光鏡代替折光望遠鏡之物鏡，就是反光望遠鏡(見圖4—126)有牛頓式、蓋賽林式(*Cassegrainian*)、赫協爾式(*Herschel*)、格里哥式(*Gregorian*)等等。凹面鏡從前用金屬製，現在改用玻璃面而鍍以銀，最近又改爲鍍鋁，這類望遠鏡差不多都是赤道式裝置；不宜於精密測定，但是用爲天體攝影非常適宜。現今世界最大的反光望遠鏡是美國威爾遜山天文臺(*Mt. Wilson Observatory*)的254厘米(即100吋)口徑。

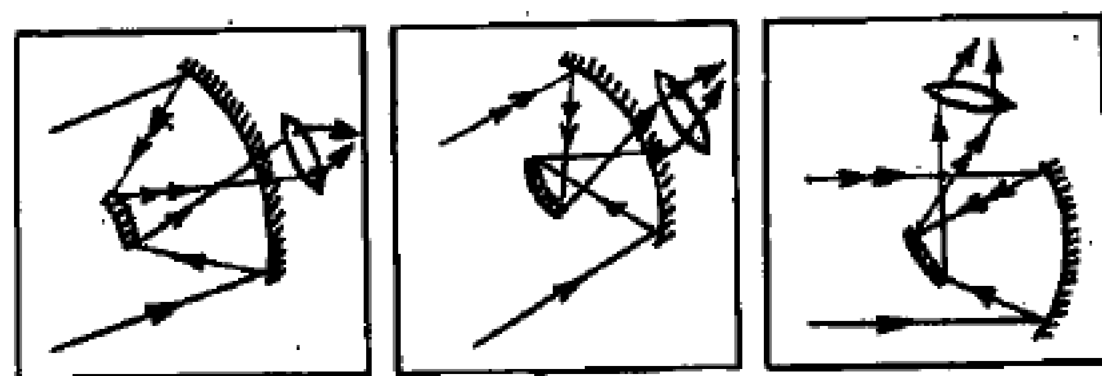


圖4—126

用刻卜勒式望遠鏡作天文觀測時，將像與物之比當作放大率是毫無意義的；因爲像的大小與天體之眞實尺寸是無法作比的。

故望遠鏡以及顯微鏡之放大率，應以用儀器時之視角與不用儀器時之視角之比表示之。即

$$放大率=\frac{經過儀器看見物像的角度}{不用儀器的人眼看見物標的角度}$$

欲徹底瞭解用望遠鏡能產生放大的物像(見圖4—127)可由遠處物標而來之平行光線畫出與物鏡相交之角度θ。光線$\overleftrightarrow{BI}$穿過物鏡之光中心，而未偏斜；與光線$\overleftrightarrow{AI}$相交，則形成物像I(遠處物標之物像)。此物像在目鏡之焦點附近，光線$\overleftrightarrow{AI}$若繼續與軸平行，則將在穿

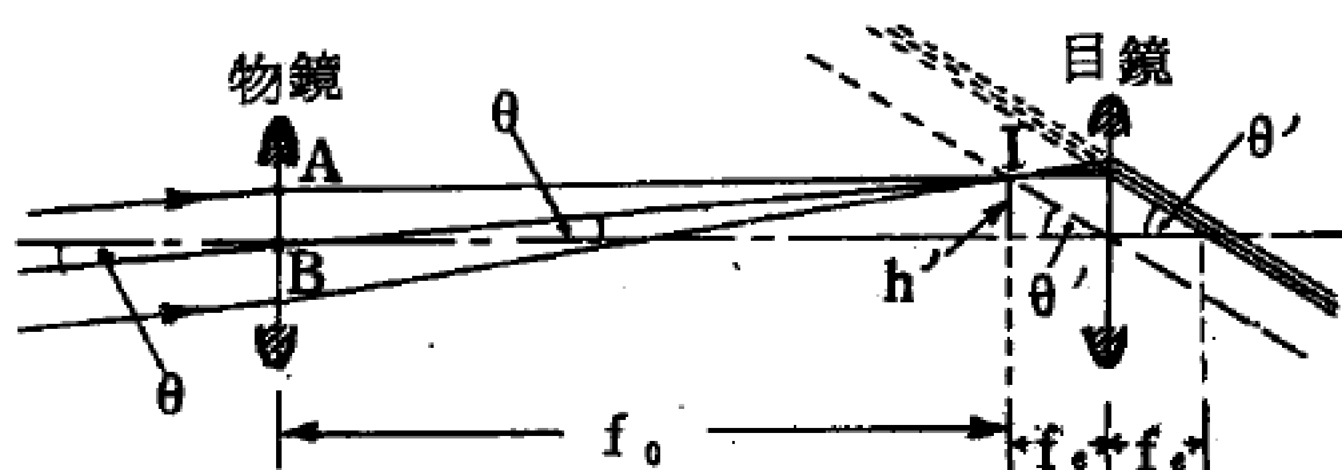


圖4—127　天文望遠鏡中光線之路徑

過目鏡後與軸交在軸之另外一點上，而所有其他光線穿過 I 將以此方向平行射出。經過望遠鏡所見之放大的虛物像（*virtual magnified image*）則在 θ' 下看見，此角 θ' 可用 h'/f_e 表示之，其中 h' 爲在 I 處物像之高。僅被眼睛直接在此角度下看見的物標爲 h'/f_o（望遠鏡之長省略不計），故放大能力 $=\dfrac{h'/f_e}{h'/f_o}=\dfrac{f_o}{f_e}$。

放大率亦可由進入瞳孔及出口瞳孔直徑以測定，用一乳白燈以其擴散光線照明物鏡；置一玻璃座屏在光學試驗臺之配件上，且收到目鏡投射鏡徑之物鏡、物像於屏上。用毫米尺測量此物像之大小，用一手持放大鏡幫助觀察，再用兩腳規測定物鏡之直徑，於是得放大率：

$$放大率=\frac{入口瞳孔之直徑}{出口瞳孔之直徑}$$

此式可由圖 4－128 瞭解，出口瞳孔 $A'B'$（由目鏡成爲物鏡 AB 之物像），乃由 A 及 B 經過目鏡之中心 C 之光線而成，此等光線均未經偏向。再由 A 及 B 經焦點 F 畫出之光線再射出與軸平行，其相交點在 A' 及 B' 即定出口瞳孔之位置及其大小，且由相似三角形

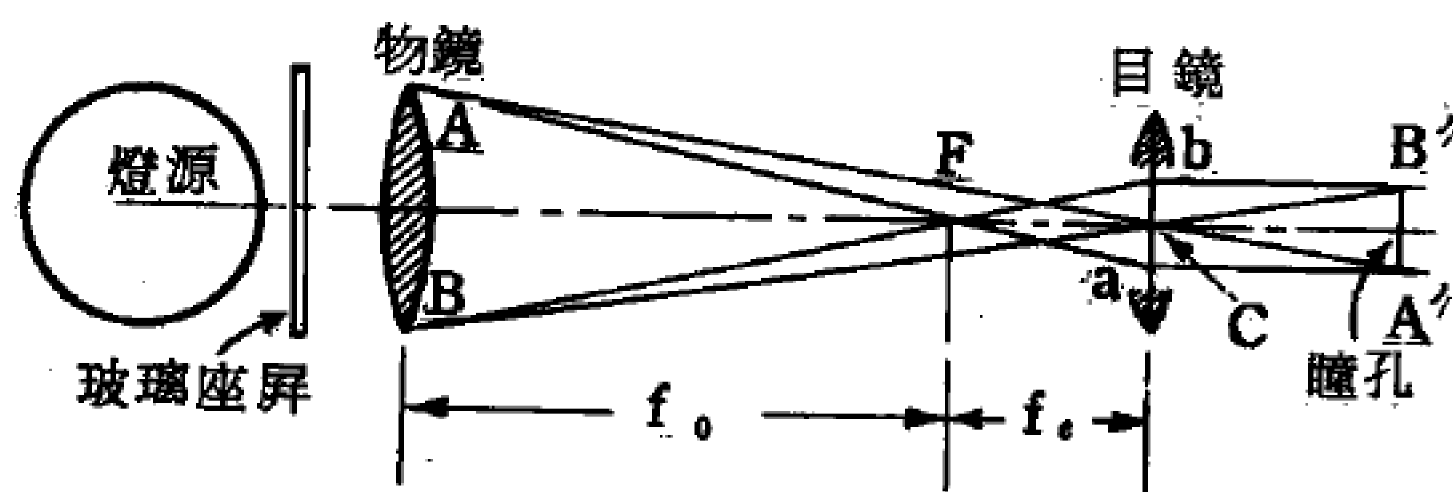


圖 4－128　形成出口瞳孔之光線路徑

$$AB/ab=f_o/f_e\ （及\ A'B'=ab）$$

由前實驗 $f_o/f_e=$ 放大率

故 $$\frac{AB}{A'B'}=放大率=\frac{入口瞳孔之直徑}{出口瞳孔之直徑}$$

【天文單位】（Astronomical unit）

因爲宇宙的空間非常大；故天文距離遠大於地球上的距離；爲了易

於體會天體間的相對距離，因此需要使用天文上的單位來衡量，才能令很複雜的數字簡單化。所謂天文單位，就是地球與太陽之間的平均距離作為一個天文單位（如圖 4 — 129），如果地球與太陽的平均距離為 1.49×10^{11} 米或 92.9×10^{6} 哩時，那 1 天文單位，就等於 1.49×10^{11} 米或 92.9×10^{6} 哩。

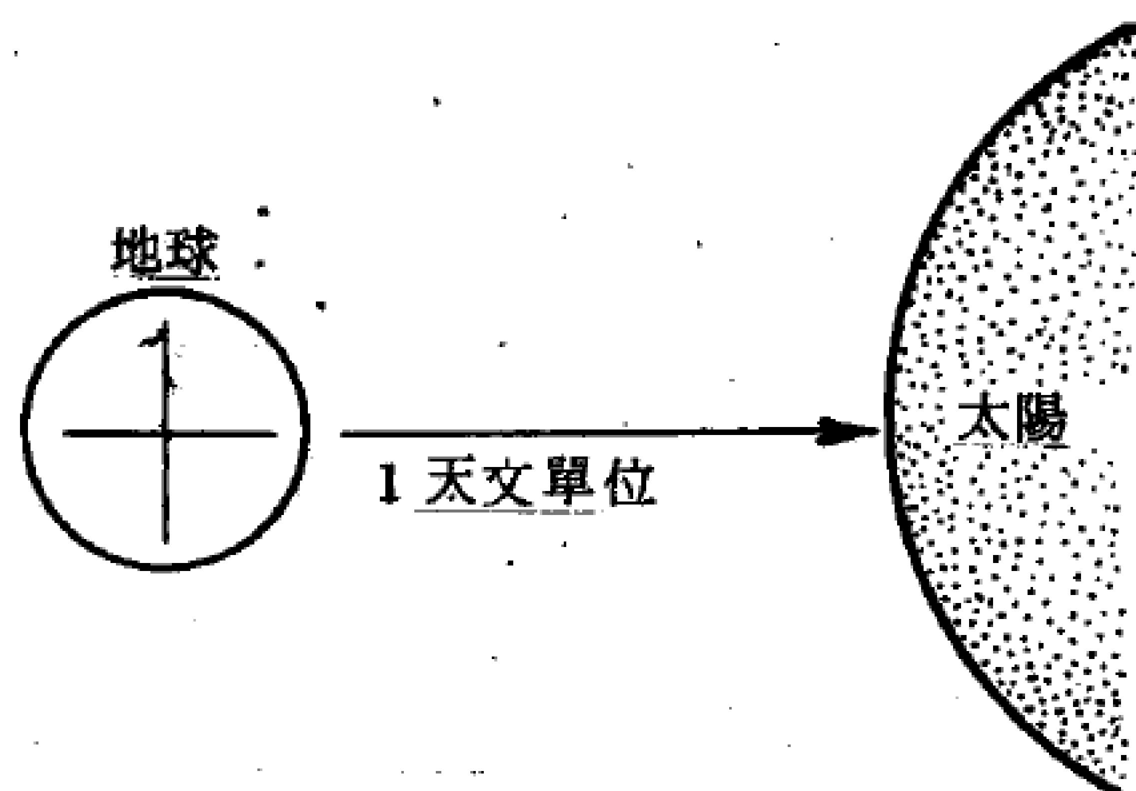


圖 4 — 129　平均距離（地球～太陽）

又因地球及其他行星都是在圍繞著太陽作近似的橢圓運動，所以每一時刻與太陽之距離是不相等的。故一般都以平均距離來表示，而平均距離之表示方法為：

$$\text{平均距離} = \frac{\text{近日點之距離} + \text{遠日點之距離}}{2}$$

其與其他天文上所用距離單位之關係如下：

一秒差距（ *parsec* ）為一天文單位之弧長所張角度為一秒距離（弧之半徑）。

$$1\text{ 秒差距} = \frac{1\,AU}{\frac{1}{60} \times \frac{1}{60} \times \frac{\pi}{180}} = 2.06 \times 10^{5}\ AU\text{（天文單位）}$$

$$1\ AU = \frac{1}{2.06 \times 10^{5}} = 4.85 \times 10^{-6}\text{ 秒差距}$$

一光年（ *light year* ）為光在真空中以 186,000 哩/秒之速率一年所行之距離。

$$1\text{ 光年} = 186{,}000\ (365 \times 86{,}400) = 5.87 \times 10^{12}\text{ 哩}$$

$$1\ AU = 92.9 \times 10^{6}\text{ 哩} = \frac{92.9 \times 10^{6}}{5.87 \times 10^{12}} = 1.58 \times 10^{-5}\text{ 光年}$$

地球至太陽的距離，一般可由測量其地心視差（*geocentric parallax*）決定之。如在赤道上的二個觀測點，圖4—130所示，一在地面A處，一在A東方六小時地面B處，如同時攝取太陽照片，這兩張照片則可顯示太陽在以恆星

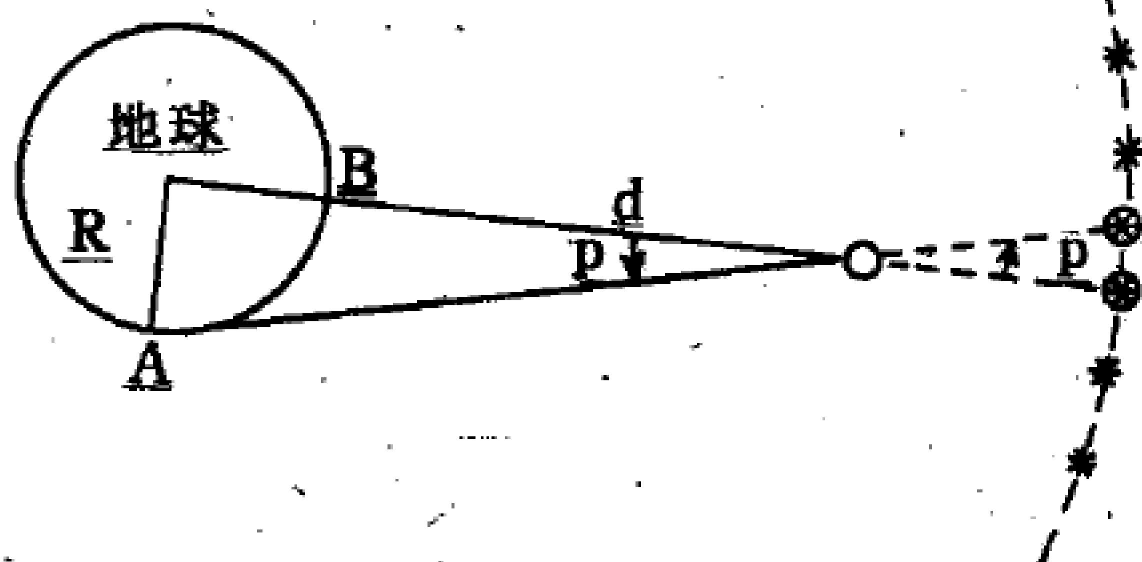


圖 4 — 130
太陽的地心視差，地球半徑所對向在太陽中心的角 p 爲太陽的地心視差

爲背景中的位移，這是太陽的地心（地平的）視差以角度爲單位。因地球半徑R爲已知，到太陽的距離d可由比例式求得之：

$$\frac{p^{\circ}}{360^{\circ}}=\frac{R}{2\pi d}$$

太陽的平均地心視差爲 8″.79，代入上式得一天文單位等於150,000,000公里（93,000,000哩）。

實際上此方法不常用，乃由於第一，在A觀測者見太陽在地平線上，此在測量中地平線的濃氣差發生極大的不穩定。這困難可由改變A、B觀測位置至其他二處適地點解決之。於是這地心視差可視爲幾何學的問題。第二，必須僅在日間觀太陽，其時天空光亮，在望遠鏡中除最光亮的星體外而不見空中其他星體。然尚有其他各種方法可用以測定這天文學單位。其中最準確的爲依小行星“愛神”（*Eros*）的測量視差法。在太陽系中所有天體的相對距離均能用牛頓運動定律和萬有引力定律計算之。於是，若求得任何兩天體間的距離用公里表示時，則可推得其尺度因數，故可用公里表示天文單位。所以採用愛神星，因其影像爲視同星體且相當明亮，故易於觀測。又有時因其與地球相當接近，其距離比一個天文單位爲小。因具有大的地心視差，在計算其距離時可得較高準確度。

【天文緯度】(Astronomical latitude)

某地方鉛垂線和赤道面所成的角，叫做該地方的天文緯度，這和天頂的赤緯或北極距相等。

【天文學】(Astronomy)

天文學英文名詞係從希臘語而來：*astron* 意義爲星，而 *nomos* 意義爲定律。故天文學可謂關於星體的宇宙及控制此宇宙定律的研究。換一句話說，天文學是研究天體的視運動、眞運動及支配這些運動的定律、形狀、容量、質量、表面的形態、性質、構造、物理狀態、彼此間互相的引力和輻射關係、過去歷史、未來的發展及進化等學問。

以現代自然科學術語言之，乃爲研究物質和能的性質的一種人類最基本智識，亦卽天文學的眞價值。

因此天文學可以按它一部分的目的和研究的方法，分做幾類；但是各類自然是互相關聯，沒有明確的區別。普通習慣和便利上，通常分爲六類：

1. 實用天文學 (*Practical astronomy*)——這是說明觀測天體儀器的理論、使用方法和消去誤差的方法等等；並含有各種觀測的計算方法。

2. 位置天文學 (*Astronometry* ；*Astronomy of position*)——這是研究天體的幾何學上的相互關係、位置、距離、大小、表面狀態、天體的眞運動、視運動等等。球面天文學 (*Spherical astronomy*) 就是這類的一部分。

3. 天體力學 (*Celestial mechanics*)——這是以牛頓 (*Newton*) 的力學定律爲基礎，研究天體的運動。天文學中，以這類最爲精密，而計算方法，也最爲複雜。

4. 天體物理學 (*Astrophysics*)——這是專門研究天體的物理性質，就是光度、光譜的特性、溫度、輻射、內部構造和蒙氣表面內部

的現狀等等；更進而求其原理，可以知道天體的運動狀態。這是天文學中最新的一門，通常又分爲三種：

(1)天體測光學（*Astrophotometry*）——以測定各種天體放射光線的強弱爲目的。

(2)天體攝影學（*Astrophotograph*）——研究攝取天體的方法，和由照片研究天體表面的模樣和天空的狀態；由這種底片可以計算天體的位置。

(3)天體分光學（*Astrospectroscopy*）——用分光儀實測或攝取天體的光譜，可以知道天體運動的速度、溫度、壓力和成分等等。

5. 宇宙原始論（*Cosmogony*）——研究宇宙是怎樣的開始，開始的狀態和開始以來的經過，以及它的將來是如何終結的問題。這類又可以分做宇宙構造論和天體演化論二種。

6. 敍述天文學（*Descriptive astronomy*）——按一定的系統，敍述天文學上的事實、原理等等。這是研究天文學的入門。

天文學的研究，可以增進科學家以服務人民爲目的，來探求天體演進的規律，所以科學的產生是以天文學爲最早，而科學要長保它的位置，永垂不朽者，要藉天文學調劑的功勞。

天文學和人類有直接關係者，例如求正確的時刻、編製曆書以及通商上不可缺少的航海通書等；他如地圖海圖製作的基礎、測定地球形狀大小的大地測量學，受天文學的輔助也不少。

天文學對於人類的關係，沒有氣象學（*Meteorology*）的密切；因爲氣象學是討論地球周圍大氣的狀態而研究其中所發生的現象，人類生活在空氣中，不斷的受天氣變化所支配，所以氣象學和人類的關係比較密切。由上面所說，我們可以知道天文學和氣象學的區別；最簡單的說，一個是研究遠在雲彩上面的現象，一個是研究雲彩下所發生的現象。

中國古代對天文現象的記載大部分集中在二十四史的天文志裏，本

紀世家等正傳裏面有時也可見到諸如“ 大星落於五丈原 ”之流的記載，但附會虛構可能性大，遠不如根據官方直接資料撰述的天文志可靠。其他雜史逸書的記載，有時較正史更爲生動詳細，古今圖書集成和文獻通考這兩部書中收集此種資料很多。此等紀錄若在其他科學，也不過是歷史上之成績，在天文學中則爲現代研究上之珍貴資料，因爲日月星辰是科學家在實驗室中無法複製出來，而其變化生滅以億萬年爲春秋，百載亦不過一瞬，因此在研究超新星爆炸後之演進，流星雨產生之統計，這一類問題皆需借重歷史之記載。

【天王星】(Uranus)

天王星是太陽系行星之一，1781 年哈修爾所發現。直徑 49,700 公里，爲地球 3.9 倍；和海王星大小很相似，其質量爲土星的六分之一。自轉週期爲 10 時 45 分；公轉週期爲 30,685.9 日，即 84.2 年。與太陽的距離爲 1,783,383,000 哩，列第七位。因爲它表面有濃厚的氣體以及離地球很遠的原因，光輝甚弱，溫度非常低，肉眼並不容易看見，只有藉助望遠鏡才能看見。故其表面之特性不爲人類所詳知，除呈帶狀外，別無特徵。天王星有五個天然衞星，都靠近它的赤道平面；第一衞星在 1949 年才被發現。

【天平】(Balance)

如圖 4 — 131，其主要部分爲一輕而堅固的三角形長桿，桿之中點及兩端各有一刀口，中央之刀刄向下，支於柱上，使桿可繞此刄而擺動。桿中懸一長針，指於柱下所附之小刻度板上，可讀得桿之擺動度數。桿臂上所刻格度，備放跨碼之用。桿的兩端之刀刄向上，各懸等重的秤盤一個，盤下與桿下各有盤托與支架，在不用時旋轉中下方之扭頭，可以此支持之，免損刀口。桿外於兩側或一側，附有螺

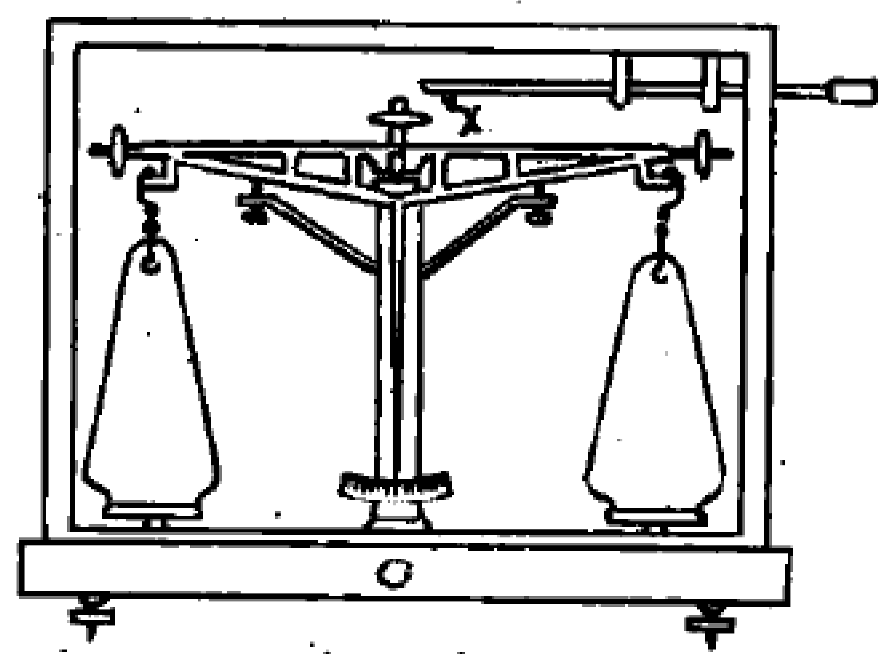


圖 4 — 131

旋錘，以調整桿之平衡。爲防塵埃及空氣擾動，天平常置於一玻璃櫃中，天平是否水平，另由底下的三足可予調整。

【天波】(Sky wave)

從廣播電臺發射出的無線電波離開天線時，有一部分的能量沿地球表面前進，這種電波叫作地波（*ground wave*）。其他部分的能量向空間輻射，輻射圖形和天線的設計有關。那些在水平間觸及地面的電波叫作空間波（*space wave*）。以高角度向空間放射而能超越水平的叫作天波。天波爲今日擔任長程無線電通信之要角。天波是向天空游離層發射出電波的一部分。游離層的不同情況，會影響電波的發射，發射出去的電波會受游離層的反射或折射而又回地面來，有些會就此不再折射，有些又會再反射到天空來。而地波是沿地面進行的電波，因爲地球是一個大導體，電波沿地球進行時，會因產生感應電流而消耗部分能量。所以離電臺越遠，地波收到的聲音越小。同時也有一部分地波，由地面反射到天空中，這樣，往返的折射，便能夠把電波傳到很遠的地方去。

產生這種高頻電波，主要是靠電感器 L 和電容器 C，當有電流通過 L 的時候，L 便產生電流流到 C，直到 C 飽和，又反流回 L，這樣週而往復循環，便產生了高頻電波。

當電波通過天線傳到我們的收音機時，這電波如果由較遠的地方發出，我們所收到的電波是很微弱的，經過機內的檢波和放大等的作用，我們才能聽到原來播音臺播送出來的聲音。

全世界所有的電臺是很多的，收音機有它的選擇性，當然不可以一個收音機同時接收所有的電波。每一個電臺，都有它不同的波長和頻率，我們可轉動可變電容器。如果我們要接收300仟赫的電波，只要轉動可變電容器，於是收音機和發射機的頻率完全一致，便產生諧振。這樣，我們便可以收到該電臺所發出的聲音。

利用天波傳播是不可捉摸的，因爲天波常受季節、晝夜、大氣層等

條件的影響而強度衰減，並且變化無常。但天波仍是圍繞地球作短波通信的主要方法，所以在通信方面而言，是非常重要的。

利用天波以達長距離通信，完全是由於在地球表面上空有數層大氣游離層，統稱爲游離層（ *ionosphere* ）。其作用如同是一個無線電波的鏡子，可將天波反射回地球表面。游離層的離子化粒子是藉太陽的各種強烈輻射造成，因此游離層受太陽輻射的干擾。

雖然整個游離層中，至少可明顯的分成四層。這四層中最重要的是*E*層及*F*層。爲了紀念發現*E*層的人，有時*E*層又稱爲肯涅利、赫維賽德層（*Kennelly-Heaviside layer*），其高度在地球表面上空55哩到90哩之間，但此高度，隨四季氣候而變。*E*層可將頻率約爲20兆赫的信號，傳送到1,500哩外。在晚間*E*層幾乎完全消失，因此無法在晚間利用*E*層作高頻率（短波）無線電通信。被強烈離子化的*F*層（又稱爲阿卜吞頓層*Appleton layer*）存在於地球表面上空約90哩到250哩間，其對藉天波作長距離通信是非常有用的。*F*層也隨季節及時辰而變，利用*F*層作繞地球長距離通信的頻率範圍爲2兆赫到30兆赫。

圖4－132爲天波傳送信號之實際情形，天波1以一個非常小的角度（角度都是對地面而言）射出，經*F*層反射回到距發射天線非常遠的地球

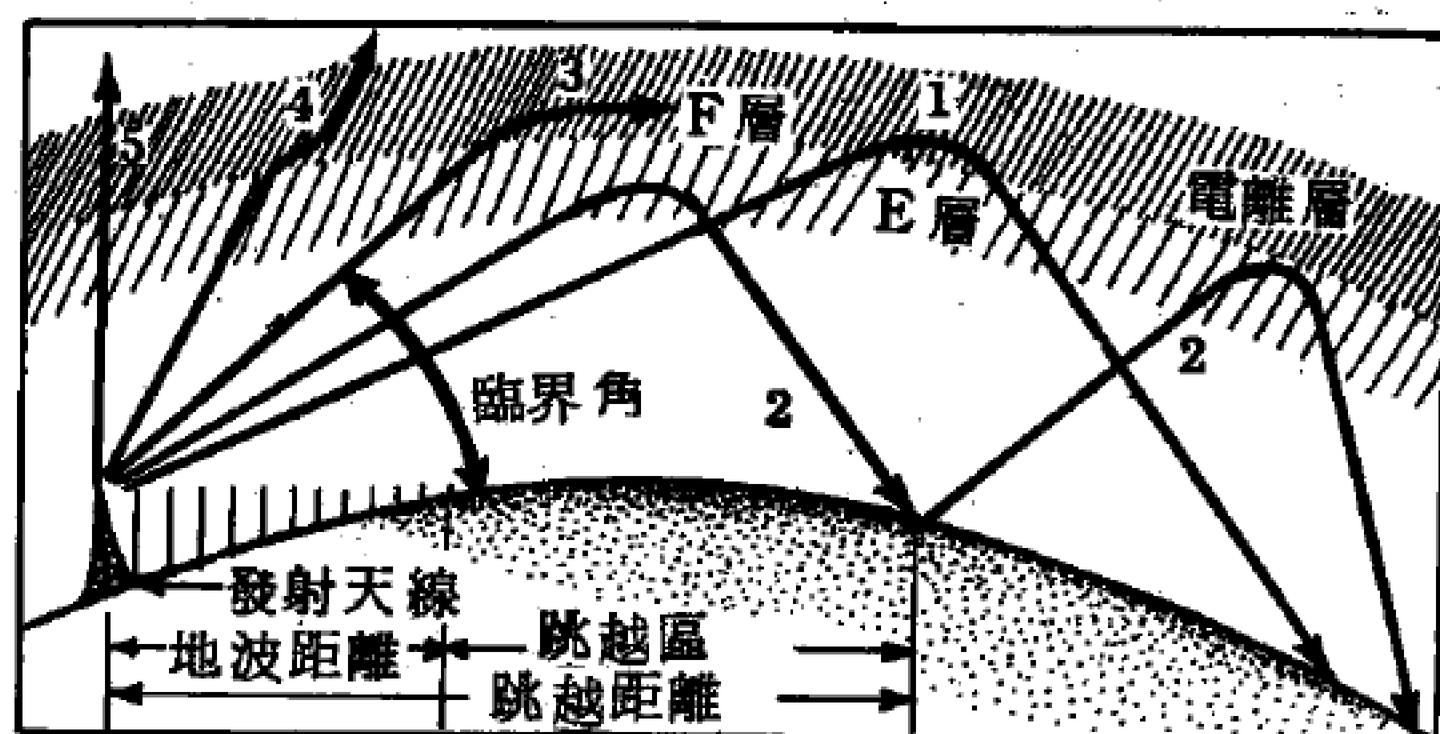


圖4－132　天波的各種傳輸路徑

表面。天波2射出的角度稍大，經較低的*E*層反射回地面，由於天波2的放射角度大，抵達游離層較快，所以反射回地面也快，但距離比較近

發射天線與天波第二次反射回地面之點間距離，稱爲跳越距離（*skip distance*）。如果接收機在跳越距離內而距發射機非常近，可藉地波收到信號，一旦離開地波所能達到的範圍，就無法收到信號，此一安靜區稱爲跳越區（*skip zone*）。如由游離層反射回地面的天波，是非常強的話，天波可能會經地表面反射，再被游離層反射回地面，甚至於如此反射數次，形成數個跳越距離。信號可藉此連續反射，而繞地球數週。無線電信號繞地球一週，需時七分一秒，所以可能由接收機聽到每隔七分之一秒的回聲。

天波之發射角再增大，游離層就無法反射回天波，如圖4—132的天波3、4、5。天波不能反射回地面的最小發射角，稱爲臨界發射角（*critical angle of radiation*）。天波之發射角如果大於臨界發射角時，就產生偏向現象，完全不能反射回地球。臨界發射角的大小，與游離層的游離密度（*density of ionization*）及天波的頻率有關。頻率越高，游離層的反射作用越差，頻率越低，也需要較小的發射角，才能使天波反射回地面。當頻率約大於 30 兆赫時，發射角再小，也得不到反射回地面的天波。關於天波不能反射回地面的確實最大頻率，與離子化的密度、太陽黑點的週期、時辰及季節的變化有關。

離子化游離層的層數、各層的高度以及離子化的密度，都隨年、季、月、日、時的不同而有變化。這就是何以天波傳送信號可靠性非常低的原因，所以有突然信號中斷的發生。

【天波之折射】（Refraction of sky wave）

詳閱“天波（*Sky wave*）”條。

【天狼星】（Sirius）

位於獵戶座東南與其腰帶幾成直線，而相距20度處，有一全天中最明亮的恆星，稱爲天狼星，屬於大犬星座。中名爲天狼星，西名則爲狗星。

天狼星的密度非常大，約爲水的6,000倍，或白金的3,000倍，與地球相距甚近，僅8光年多。十八世紀初，天文學家發現天狼星在各星間有行動之迹象。百年後始知其爲一雙星系統(*double-star system*)，由全天最明亮的星(*A*)和它白矮星伴星(*B*)所構成，每50年互繞一周。圖4—133的頂端繪的是它們倆繞其共同引力中心的軌道，圖中循對角線方向延伸的斷線，則表示這兩顆星及其引力中心相對於地球的運動。

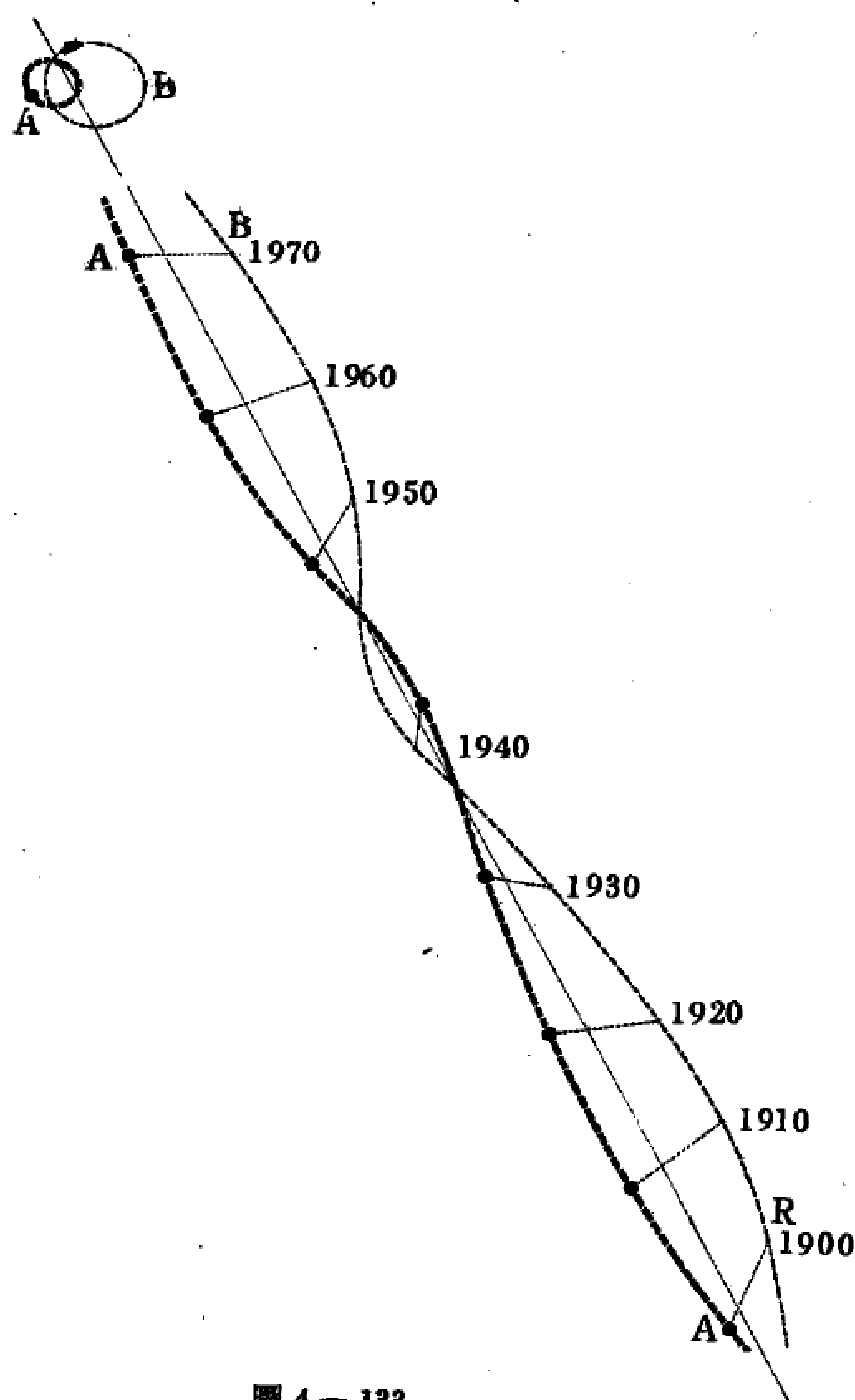


圖4—133

【天氣預報】(Meteorological report)

乾燥空氣之密度大，其壓力亦大，因之氣壓計之水銀柱高。含水蒸氣量多之空氣密度小(因水蒸氣較空氣輕)，其壓力亦小，因之氣壓計之水銀柱低。水蒸氣遇冷，則凝結成水而下降，故當將落雨時，氣壓計之水銀柱下降。又既落雨後，將晴時，空氣中之水蒸氣，已盡凝爲雨，

空氣之密度增大，氣壓計之水銀柱上昇。又風爲空氣之流動，恆從氣壓高處向低處流，將起風時，其處之氣壓降下，故正起風時，氣壓若昇高，則風停止。由是若在各地方設測候所，各置氣壓計，測各地之氣壓，報告中央氣象臺，在空白地圖上用記號記入各地的風向、風速、天氣、氣溫等，並畫好等壓線，則據此就可製成天氣圖，進而作各地的天氣預報。

【天氣圖】（Meteorological diagram）

詳閱"天氣預報（*Meteorological report*）"條。

【天氣圖之記號】（Code of meteorological diagram）

如圖 4—134所示。即爲天氣圖中的各種記號，例如東北風，風力 2 級，天氣陰，氣溫 7°C，氣壓 1,028*mb*。於是我們可得圖 4—135 的天氣圖。

天氣記號：晴朗　晴　陰　雨　驟雨(A)　雲雨(B)　強雨(C)　雪　驟雪　霜　雹　冰雹　雷雨　霧

風力記號：1　2　3　4　5　6　7　8　9　10　11　12

鋒的記號：暖鋒　冷鋒　閉塞鋒　靜鋒（靜）

圖 4—134　天氣圖的記號

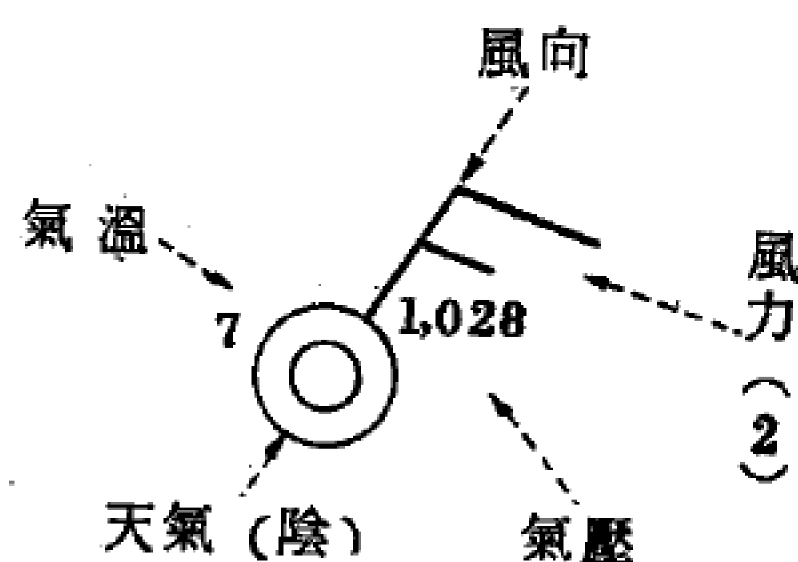


圖 4—135　天氣圖的例子

【天球】（Celestial sphere）

我們所看見的一切天體，都列在一個圓形的天空上。假設以觀測地或地球中心爲中心，任意長爲半徑，畫一個大球面，我們可以想像一切的天體都投影在這個球面的內側；這樣的球，叫做天球（如圖 4—136）。天球上的天體位置，只表示它們的方向，和它們的距離沒有關係。通常爲便利起見，以無限長爲天球的半徑。又有以小半徑的球，作天球的

模型這叫做天球儀（*celestial globe*）；這不是一種用以觀測天體的儀器，是用爲觀察的準備或用以求某種觀測所得的結果。

天球上所常用的名詞很多，現在把它們的意義，說明於下：

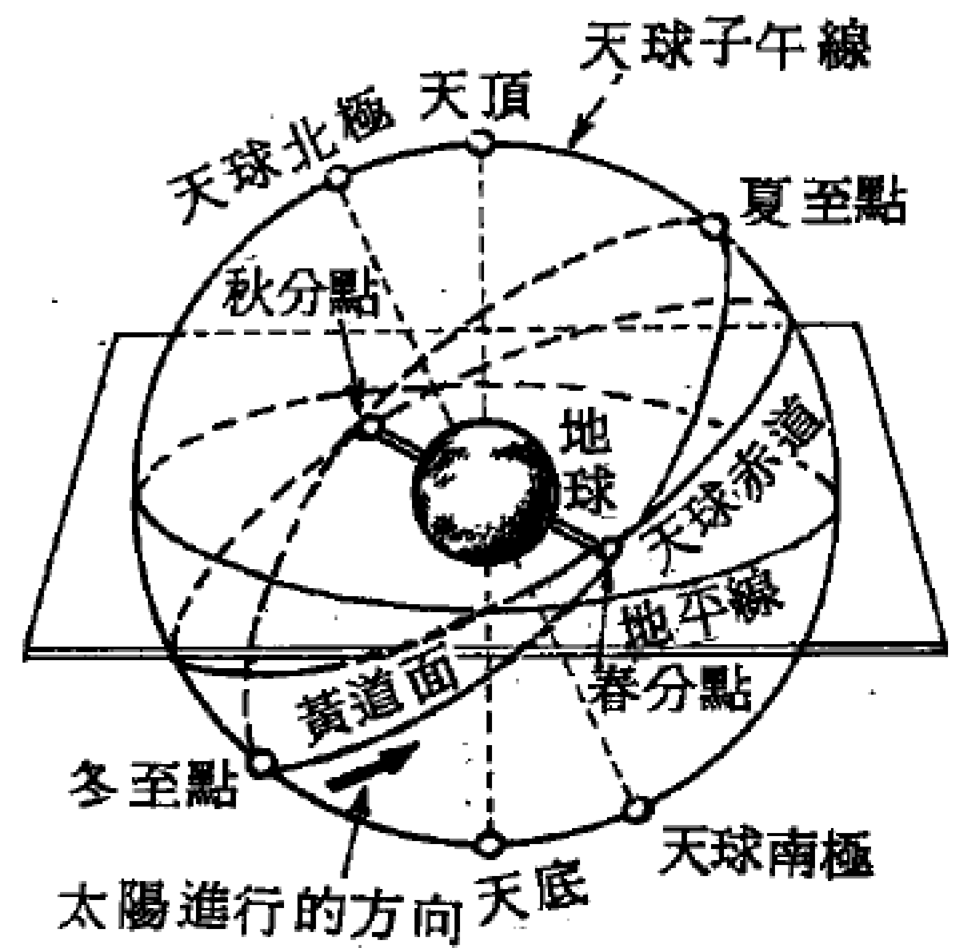


圖4—136 天球

1.天頂（*zenith*）—— 經觀測者所在之處的鉛直線向上延長，與天球相交之點，稱爲天頂。

2.天底（*nadir*）——經觀測者所在之處的鉛直線向下延長，與天球相交之點，稱爲天底。

3.天軸（*celestial axis*）—— 連結天球北極和南極之直線。

4.天球赤道（*celestial equator*）——通過天球中心和天軸垂直的平面，叫做天球赤道面，這赤道面和天球相交的大圓，叫做天球赤道（在離天球兩極各90°處）。赤道緯度卽由此量起。

5.天球子午線（*celestial meridian*）—— 在天球上，通過正北方到天頂，再由天頂至正南方而到天底的線，叫作天球子午線。天之北極、天之南極全在這條線上（此與由地球上本地、子午圈的平面擴展在天球上所截的大圈相吻合）。

6.地平線（*horizontal line*）——通過觀測者的水平面，跟天球相交接而成的線（圓周）。

7.天球北極（*celestial north pole*，簡記作C.N.P）——地軸的延長，跟天球相交的一點中，在北極的正上面的一點。北極星距天球的北極約1°，天球北極的高度，跟那地點的緯度相等。

8.天球南極（*celestial south pole*，簡記作C.S.P.）——地軸的延長，跟天球相交的一點中，在南極之正上面的一點。在臺灣是看不

到的。因爲它在地平線之下方。

9. 黃道（*ecliptic*）——地球公轉軌道和天球相交的大圓圈。

【天然核子反應】（Natural nuclear reaction）

世界上第一次核子連鎖反應，依據科學歷史書的記載，那該是在1942年12月2日於芝加哥大學內的秘密實驗室所試驗出的一次人工核子反應。但是，前任法國原子能委員會的主任便對這既有的事實提出異議。物理學家法蘭西斯（*Francis*）在巴黎法國科學院所做的一次演說中指出：世上第一次連鎖反應不是人工製造的，而是天然的。或許遠在十七億年前，在非洲的鈾礦床即已發生過。

這種史前的自發核子反應所具的證據，是由在皮爾利的法國鈾礦產地的研究員所發現。從非洲加彭的奧克羅（*Oklo*）鈾礦所做之分析，他們發現此鈾礦含有比率奇低的*U*－235一種製造原子彈的鈾放射性同位素（鈾共有*U*－234、*U*－235、*U*－238 三種同位素）。因爲其他所有的鈾礦，包括從月球帶回來的樣本，*U*－235在鈾中均佔有0.72％的比率；可是，奧克羅的鈾礦，*U*－235卻僅佔有0.44％。這不尋常的比率，法國人認爲是因爲長期的天然核分裂，以致*U*－235耗盡所使然。

法國科學家隨著不尋常的發現同時發佈的一項消息指出：奧克羅鈾礦包含有四種稀有的成分，而這些在形式上和所發現耗竭的鈾礦是極其相似的。所以法蘭西斯更推斷在非洲的地下深處，天然的連鎖反應必已迅捷的進行過，而這些連鎖反應也就是人類科學技術所能產生的現象。他們認爲所發現的*U*－235濃度太低而不能進行連鎖反應，但他們知道放射性*U*－235是具有一定半衰期的，所以可推知大約十七億年前，*U*－235僅有3％的鈾礦雜質，這濃度也就像人工核子反應的鈾原料一樣，足以供給核分裂所需。

法蘭西斯猜測，濾經奧克羅鈾礦床的水，已成爲連鎖反應附屬品。

地下水即如調節器的作用一樣，可使U-235 原子接受慢中子的撞擊而分裂出其他無數的U-235 原子（如沒有水的調節作用，中子逸出太快，便不能進行反應）。當從過程中釋出的熱漸漸增大之際，科學家們相信，這些地下水便會蒸發成水氣，直到鈾充分地冷卻，而蒸汽又重行凝結成水時，連鎖反應才會停止。

他們假設：當奧克羅鈾礦的U-235 比率在最高峯之時，也就是在鈾礦床剛形成之後，連鎖反應即開始進行。且可分裂的U-235 耗竭之後，便永久地停止反應。因自發反應並不具時間性，法國科學家只能猜測反應過程可能需要的時間，據估計約在幾億年到十幾億年之間。

【天然鈾】（Natural uranium）

即自然界所發現的鈾，包含0.7％的鈾-235、99.3％的鈾-238及微量的鈾-234。也稱爲普通鈾。

參閱“鈾（*Uranium*）”條。

【天然蛻變】（Natural disintegration）

或稱天然放射性，在原子序大於82 的元素中，已發現四（族）系（*family*）放射性原子核，分別稱爲$4n+3$、$4n+2$、$4n+1$及$4n$系。因爲在這些元素中間，僅有阿伐衰變（質量數A減少4）及貝他衰變（質量數A不變）發生的事實，這四種族系放射性原子核存在是一種簡單的結果，以4除質量數的結果可以用來分類原子核的系。如鈾-238，$238/4=59+2/4$，故將鈾-238歸入$4n+2$系中，事實上，鈾-238爲$4n+2$系的第一位元素，用這種區分的方法，將釷-232歸於$4n$系，鈾-235歸於$4n+3$系。$4n+1$ 系在自然界中未曾發現，因爲此系中壽命最長的元素爲錼-237，而錼-237的半衰期僅2.2×10^6年，太短所以不能在自然界中存至今日。因爲阿伐衰變使質量數改變4單位，而貝他衰變又不會改變質量數，所以放射性原子不管經阿伐衰變也好或貝他衰變也好，均不影響其所屬的族系。鈾-238的衰變產物釷

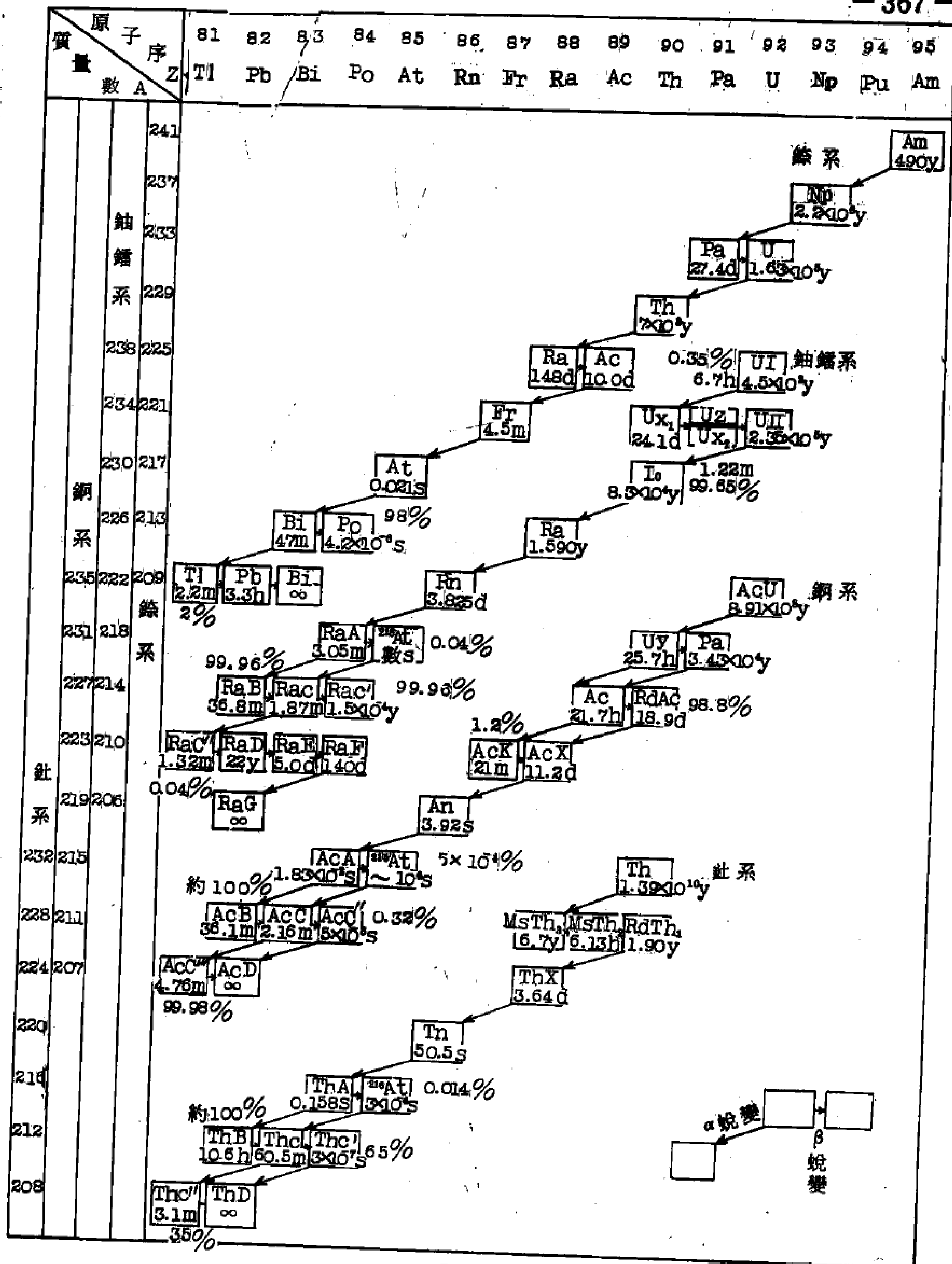

原子序 Z
質量數 A
81 Tl
82 Pb
83 Bi
84 Po
85 At
86 Rn
87 Fr
88 Ra
89 Ac
90 Th
91 Pa
92 U
93 Np
94 Pu
95 Am
鈾鐳系
錒系
釷系
Am 490y
Np 2.2×10⁶y
Pa 27.4d
U 1.63×10⁵y
Th 7×10³y
Ra 14.8d
Ac 10.0d
0.35%
6.7h
UI 4.5×10⁹y
Fr 4.8m
Ux₁ 24.1d
Uz
Ux₂
UII 2.35×10⁵y
At 0.021s
Io 8.3×10⁴y
1.22m
99.65%
Bi 47m
Po 4.2×10⁻⁶s
98%
Ra 1.590y
Tl 2.2m
Pb 3.3h
Bi ∞
2%
Rn 3.825d
AcU 8.91×10⁸y
RaA 3.05m
²¹⁸At 數s
0.04%
99.96%
Uy 25.7h
Pa 3.43×10⁴y
RaB 26.8m
RaC 1.87m
RaC′ 1.5×10⁻⁴y
99.96%
Ac 21.7h
RdAc 18.9d
98.8%
1.2%
RaC″ 1.32m
RaD 22y
RaE 5.0d
RaF 140d
AcK 21m
AcX 11.2d
0.04%
RaG ∞
An 3.92s
AcA 1.83×10⁻³s
²¹⁵At ~10⁻⁴s
5×10⁻⁴%
Th 1.39×10¹⁰y
約100%
AcB 36.1m
AcC 2.16m
AcC′ 5×10⁻³s
0.32%
MsTh₁ 6.7y
MsTh₂ 6.13h
RdTh₁ 1.90y
AcC‴ 4.76m
AcD ∞
99.98%
ThX 3.64d
Tn 50.5s
ThA 0.158s
²¹⁶At 3×10⁻⁴s
0.014%
約100%
ThB 10.6h
ThC 60.5m
ThC′ 3×10⁻⁷s
65%
ThC″ 3.1m
ThD ∞
35%
α蛻變
β蛻變

圖 4 — 137

-234 仍屬於 $4n+2$ 系。各系之蛻變情形可參閱圖 4—137。

【天然磁體】(Natural magnet)

凡未經過人工處理就具有磁性的物體，叫做天然磁體，亦稱作天然磁鐵，例如自然界中的磁鐵礦 (Fe_3O_4)。

【天然輻射】(Natural radiation)

存在於自然界之輻射；或由地球上具放射性物體所爲，或由外太空而來 (主要來源爲太陽)，或由太空輻射線激發大氣所爲等等，在實驗室裏常稱爲背景輻射 (*background radiation*)。

【天琴星座】(Lyre)

在中國，牛郎與織女星隔河遙望的神話，已爲衆人所知。其中織女星 (*Vega*) 即是天琴星座之 α 星， 這是天空中明亮星辰之一，屬於一等星。其位在大熊星座之東，仙后星座之西。我們可由圖 4—138的附圖

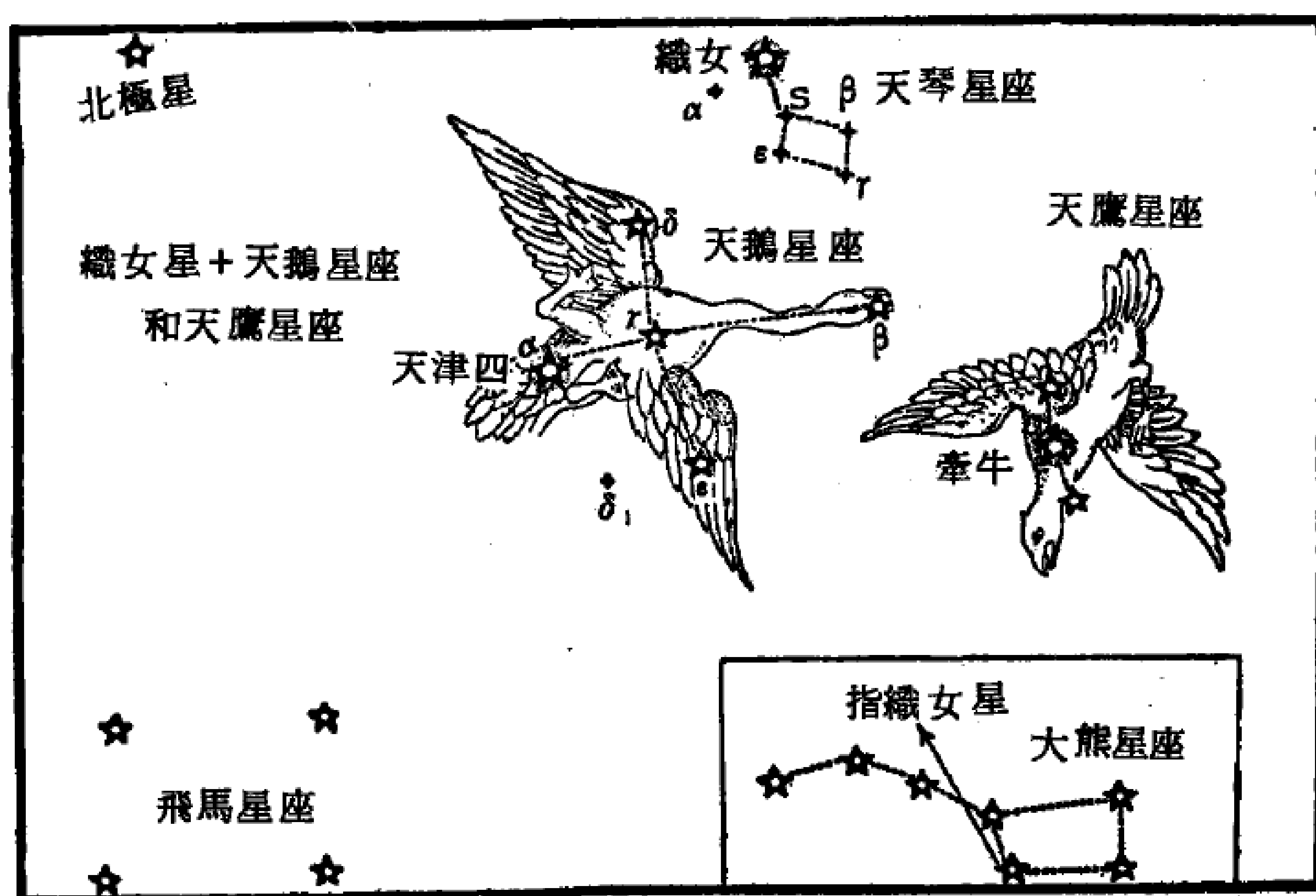


圖 4—138

中，藉著大熊星座的位置來找這顆星。天琴星座之 ϵ 星，係一雙星。主伴

相距，約爲月球視徑十分之一。故以肉眼辨認之，較北斗之開陽尤爲難。一人之眼力，是否精明，大可藉此一試之也。天琴星座中之β星，係一著名之變星。強時之光輝，倍於弱時。其週期，係十二日又二十二小時。光變原因，蓋以兩星繞行而起交蝕現象的結果。環狀星雲，恰位於β、γ二星之間。用直徑7厘米之望遠鏡觀之，即能辨認其狀態。

【天極】(Celestial poles)

通過天球中心作一直線和地軸相平行，這直線和天球相交的點叫做天極。天極有兩個，一個叫做北極(*north pole*)，一個叫做南極(*south pole*)。

【天電】(Atmospheric electricity)

自然產生的靜電，在電子工程中最感困擾者，就是天空的閃電(*lightning*)。閃電俗稱天電，是由於冷熱氣團的對流(*convection*)。引起空氣分子的激烈騷動而產生離子化的結果。據英國物理學家威爾遜(*C.T.R. Wilson*)的解釋與實驗證明，水蒸氣在空氣的負離子微粒子上，比在空氣正離子微粒上更容易凝結。因此，負離子會隨著雨點落到雲層的下部，正離子則遺留於雲層的上部，累積到高達數百萬伏特的電位差時，空氣分子的絕緣性破裂而造成火花放電(*spark discharge*)現象。其巨雷足以引起地磁的暫時性變化，影響空海航行。

【天電干擾】(Atmospheric electricity interference)

又名靜電干擾，打雷時最爲顯著，此乃因大氣中所發生的放電過程作用於無線電接收天線而產生的對無線電接收的干擾。在地面的空氣中經常存在著許多電荷，它們的大小和位置時時刻刻都在變化。這些天電現象引起了偶然的不規則的電磁場。電荷與電場作用到接收天線上，便在接收機的聽筒或揚聲器內引起噪聲與咯啦聲，因而會擾亂接收。大氣中最強烈的天電現象是發生在夏季裏，所以夏季裏，無線電接收所受到的天電干擾也就常顯得特別厲害。

【天誌學】(Spatiography)

即太空地理學。

詳閱“太空地理學(*Geography of space*)”條。

【天線】(Antenna)

一個簡單電感器及電容器(*L C*)網路，如其內部有加速電子在振盪的話，就能以電磁波的形式放射出能量。就事實而言，在高頻率的振盪器或放大器中的任一導體，多少都射出一點能量。然而從網路及振盪電路上所放出的能量，是極度的微弱。如需有效的放射或接收電磁波，必需用一個天線。天線就是一個架在空間的導體，將發射機或接收機與外界相耦合。發射天線傳輸電線與發射機相連接並且可將無線電波(電磁波)送出。同樣，接收天線傳輸電線與接收機相連，天線切割在天空的電磁波，而得到天線的端電壓輸入接收機。

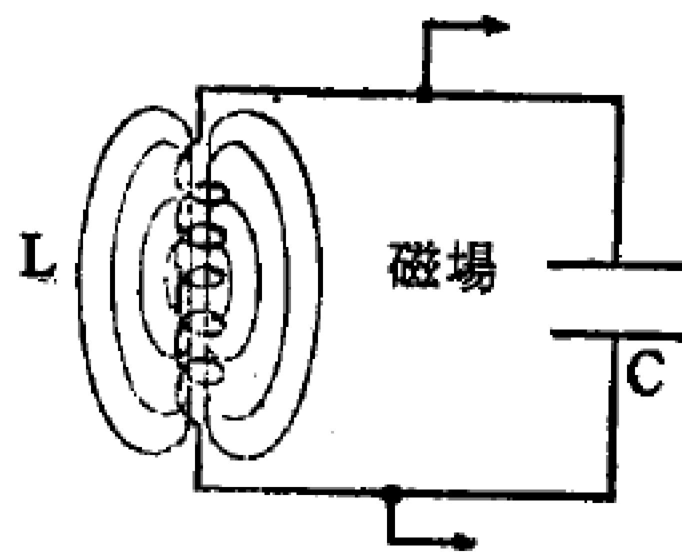
天線能成爲電磁波的有效輻射導體或吸收導體，完全在於天線的大小。天線的大小必需適當，方能使接收機或發射機的阻抗與天空相匹配(天空實際也有一定的阻抗)。玆討論天線的基本作用：

電磁波從天線放射出的程序非常複雜，如要完全了解，必需借助於數學理論。但也可利用*L C*網路內電流往覆流動(或稱電子往覆運動)的作用，建立起一個相類似的概念。在網路中，電子(負電荷)從電容器的一個極板很快的經由網路線圈流到電容器的另一個極板，如此充電及放電，使電容器兩端的帶電極性互換。當此負電荷由電容器的一個極板流向另一個極板時，在線圈周圍建立起一個磁場。但當此負電荷的流動停止時(電容器已充電完畢)，電容器的兩極板間就有一電場存在。此種負電荷的充電及放電作用，並能造成電子的加速運動，使能量在電場及磁場中交替蓄存。

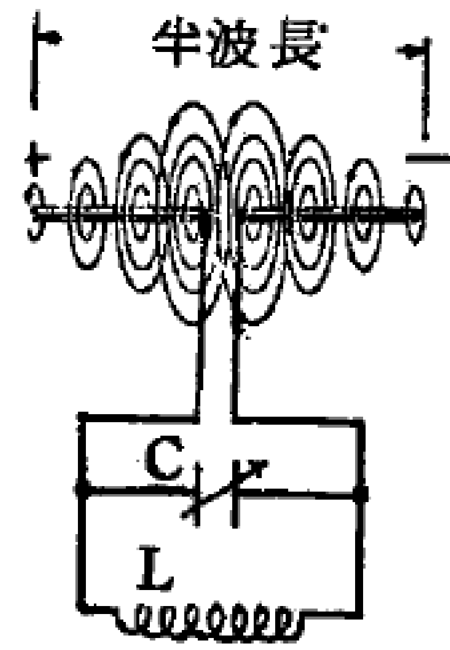
如果網路的兩端各加一根導線即成赫玆天線，在每四分之一週期時，此赫玆天線(*Hertz antenna*)的作用將討論如下。圖4－139的裝

置，就與赫兹早期作實驗所用的天線相同。

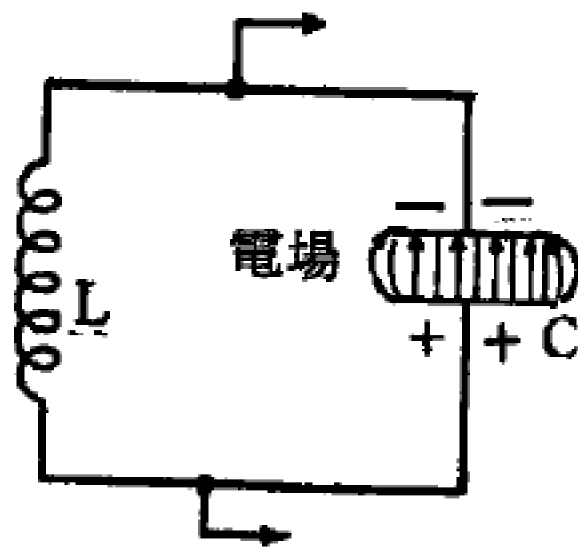
圖 4—139(*a*)是電流流動得最大時的網路，在線圈的周圍有一磁場存在。圖(*b*)與圖(*a*)完全相同，只是在網路兩端都加了一個導線，而成爲天線，有此天線後，網路內的電子流（電流的反方向）就流向天線的兩端，然後又流囘網路內，因此在天線的垂直面上建立起一個電場。如果總天線的長度爲二分之一電波波長，電子流流到天線再囘到網路時的相位將與網路內電子流的相位相同。在天線中點的磁場強度大，可由圖中磁力線的多寡得知，因爲天線中點正是能量輸入之點。天線上的磁力線向空中延伸，距離越遠就越微弱。



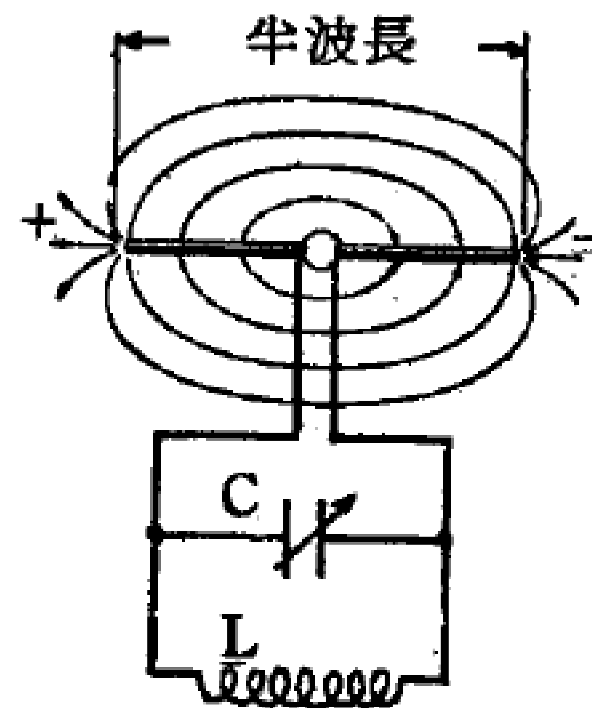
(a) 最大電流的網路



(b) 半波(赫兹)天線的磁場



(c) 最大電荷（零電流）的網路



(d) 半波天線的電場

圖 4—139　赫兹發射天線作用原理

圖(*c*)的時間比圖(*a*)的時間晚四分之一週期，此時電流的流動已經停止，卻在電容器的極板間，建立起一強度最大的電場，此時赫兹天線的作用正如圖(*d*)所繪。當電流達到天線的兩端，流動就停止一瞬間，因此使已充電天線兩端的極性互異，此時天線被電場所包圍，電力線由正電荷端向負電荷端擴展，並且與天線平行。此電場也以天線爲中心，向天空擴張，距離越遠就越弱。

再在次一四分之一週期，電流從天線的端點向天線的中點流，因此建立與圖(b)不同極性的磁場。在電流達天線中點時，又停止一瞬時，平行於天線的電場又出現，但其極性與圖(d)相反。當振盪電流的次一週波時，同樣的結果又重複出現。

顯然的，包圍天線的電場與磁場隨著網路內電場與磁場交替變化而變。磁場建立，電場就消失；電場建立，磁場就消失，每四分之一週期就有一變化，因此可知天線無論何時都被電場或磁場所包圍著。由電場及磁場所構成天線周圍的電磁場（*electromagnetic field*）又繪於圖 4—140 中。此電磁場外層，離開天線以電磁波的形式擴展到天空。

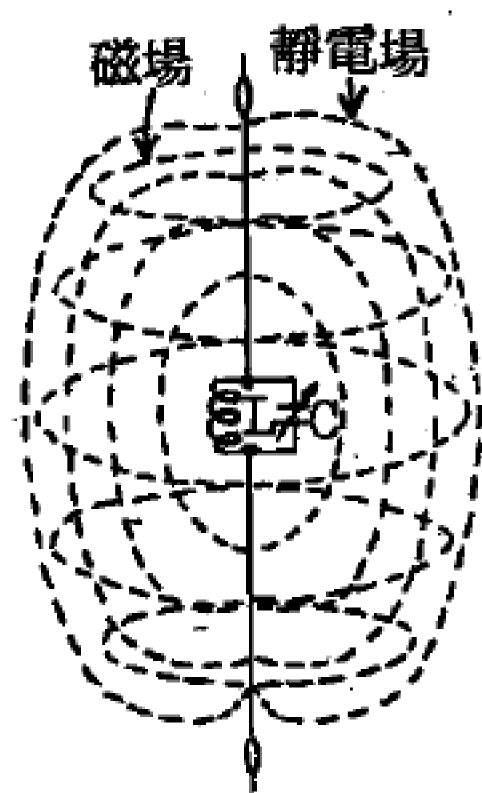


圖 4—140
天線的電磁場

【 I 】天線的長度及諧振

在以上所討論有關天線的作用情形，讀者可認為天線導體是諧振於 *L C* 振盪頻率。電流通過線圈 *L*，每半週期改變一次極性的情形（四分之一週期對電容器充電，另一四分之一週期則由電容器放電），為使電流在天線所產生的振盪，能與 *L C* 的振盪同相，天線的長度必需正好能使電流達其端點，而又回到天線中心點所需時間，恰與電容器充電及放電所花的時間相同。因為電容器充電需四分之一週期，放電也需四分之一週期，所以天線電流達到端點需四分之一週期，電流返回到天線中點也需四分之一週期，如此時間就能適當配合。再者，天線電流流向中點時的方向與電流流向兩端的方向相反，並且電流極性在流出與流入時自動改變。如果天線的長度取得適當，流回中點的電流與次半週期的 *L C* 振盪器就會同相。

為使由天線流出的電流，能在四分之一週期的時間到達端點，所以天線每邊的長度需為四分之一波長，而天線的總長度需為二分之一波長。赫茲天線的長度為半波長，所以稱為半波天線（ *half-wave antenna*

）。在實質上，天線長度就是在一個週期內，電波所行的距離，所以波長可由電波進行的速度乘以週期而得，或者是速度除以振盪頻率也可，因爲頻率爲週期的倒數。電磁波速度與光速相同，約爲每秒 186,284 哩。因此可得下列公式：

$$\text{波長（哩）} = \frac{186,284}{\text{頻率（赫）}}$$

更適當一點，是用呎及兆赫爲單位，其公式如下：

$$\text{波長（呎）} = \frac{984}{\text{頻率（兆赫）}}$$

【Ⅱ】電磁波的極化

赫茲天線的電場是與天線平行，而磁場則與天線相垂直。因此電磁波的電場與磁場在空間行進時，永遠互相垂直。電磁波之極化，由電場對地的方向而定。假如電場與地平行，此電磁波的極化稱爲平行極化；電場與地垂直，則稱爲垂直極化。圖 4—141 是一個由半波天線所發出的電磁波。由於電場及磁場都隨振盪的正弦電流變化，所以兩個互相垂直的場都用前進的正弦波表示。圖中天線垂直於地，平行於天線的電場也就與地垂直，因此電磁波爲垂直極化。如果將天線轉動，使其與地平行，發出的電磁波則爲平行極化。然而在空中進行的電磁波，其極化可能與在天線發出時的極化稍有不同。

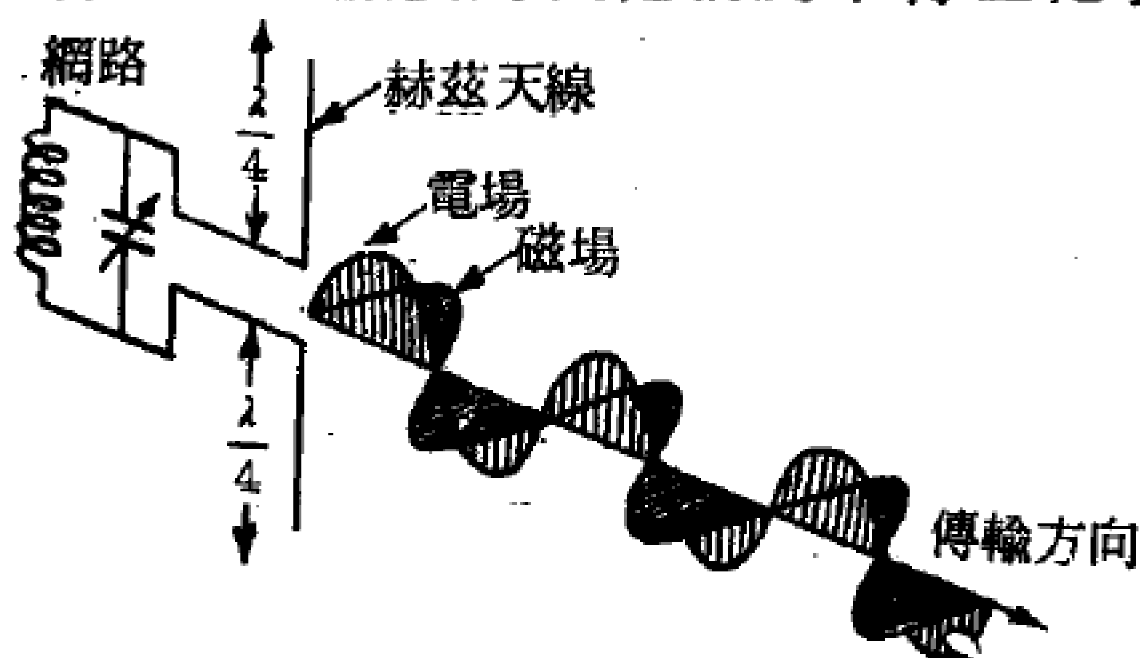
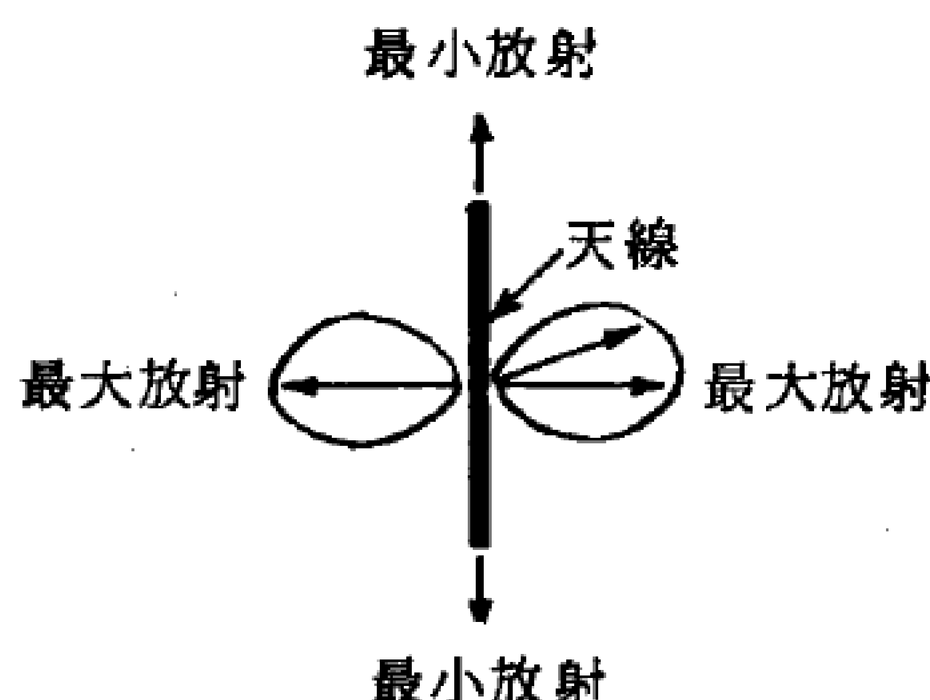


圖 4—141 電磁波的垂直極化

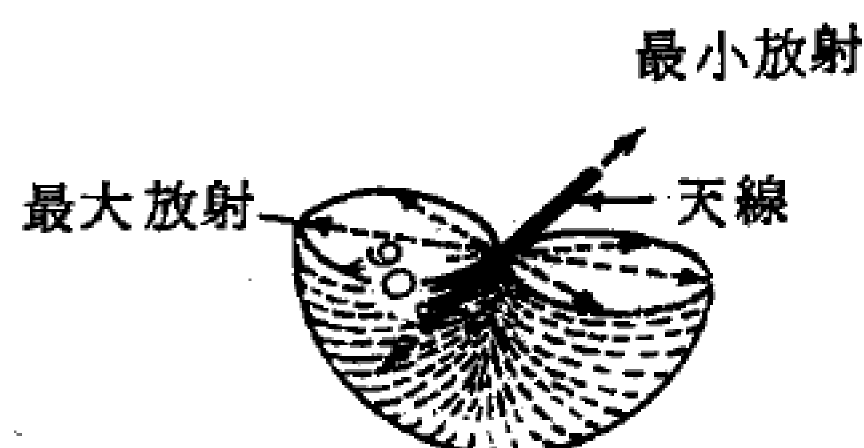
【Ⅲ】天線放射場型

由圖 4—141 知，磁場的磁力線，在天線中點附近最強，靠近天線兩端最弱。所以磁場的最大放射，則發生於天線中點，而在兩端的磁場放射最小。最有效的磁場分佈情況；可藉放射場型表示之。圖 4—142

(*a*)是半波天線在平面上的場型（平行於紙張的平面）。場型為8字型，向天線的兩側延伸，由天線中心點向場型邊緣所畫箭頭的長度，就表示在此方向放射的多寡，而在天線正側面的箭頭最長，也就表示在此垂直於天線中點的方向，放射最大。而由天線的中點平行於天線，沒有箭頭，所以表示在此方向的放射為最小，或說是零。



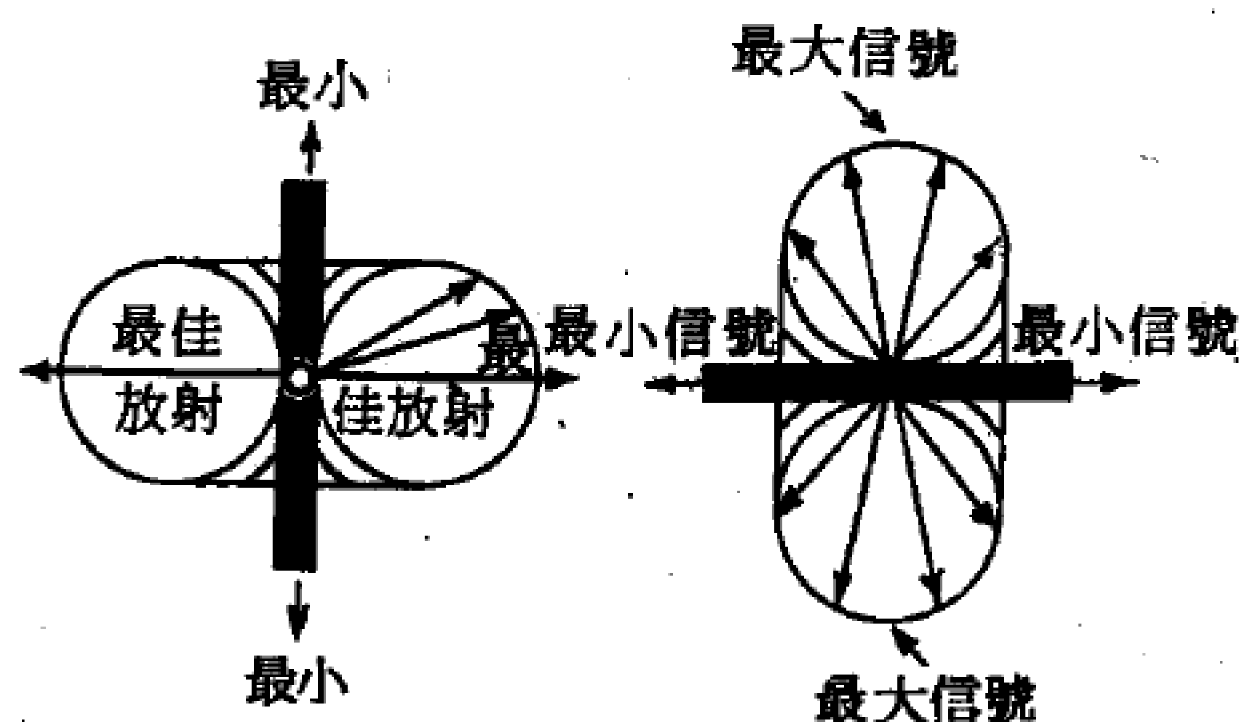
(a) 半波天線的8字場型

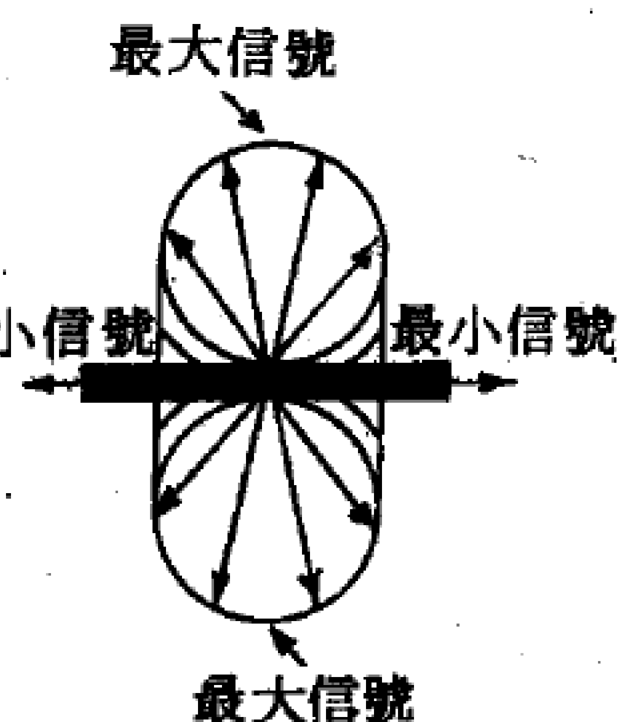


(b) 半波天線的空間餅形場型

圖 4 — 142

在眞正的自由空間（*free space*），半波天線的場型向所有的方向伸張，如圖 4 — 142(*b*)的餅形。圖 4 —142(*b*)只顯示了餅形場型的一半，如果將圖 4 — 142(*a*)的8字場型，以天線為中心轉一圈，就可得天線的完整放射場型（餅形場型）。也可將此場型當作是附著在天線上，因為天線轉時，此場型也隨之轉動。立天線與地垂直，餅形場型則與地平行（見圖 4 — 143(*a*)），並且在天線中點水平面（垂直於天線中點的面）各方向的放射最大。但如天線與地平行，餅形場型與地垂直，天線中點垂直面上的各方向，就有最大的放射（見圖 4 — 143(*b*)）。





(a) 半波天線的垂直場型 (b) 半波天線的水平場型

圖 4 — 143

【Ⅳ】馬可尼天線（或稱接地天線）

在低頻率時，赫兹天線

(半波天線)太長，這可由計算半波天線的公式求得。馬可尼(*Marconi*)由試驗發現，可將赫茲天線減短一半，而將長度減半天線的一端接地。圖 4—144 就是馬可尼天線，其長度需爲信號電波的四分之一波長。馬可尼天線的理論與半波天線相同，只是波長的天線由地作爲鏡子而得的影像所代替(見圖4—144)。由於此天線垂直於地面，所以發射的電磁波爲垂直極化。

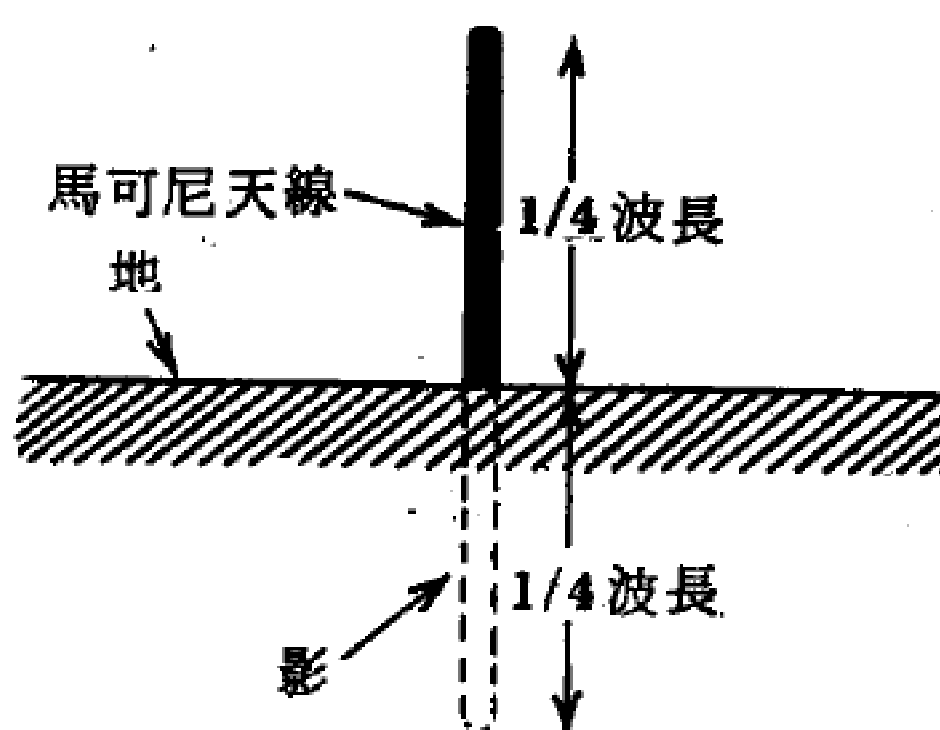


圖4—144　馬可尼天線

【Ⅴ】其他發射及接收天線

接收天線的作用，正好與發射天線的作用相反。接收天線將經過其空間的極小部分電磁波能量吸收在天線內形成電流，並因感應而得一非常小的電壓，感應電壓的波形與所接收電磁波的波形相同，此感應的微小電壓經放大、檢波而得可用人耳聽得見的聲音。在原則上，接收天線的形狀及其設計，完全與發射天線相同；但在實際應用上，往往接收天線受場地空間的限制，只能由適當的長度，或環形線構成。如果接收機離發射機很近，此種權宜之計的天線也能吸

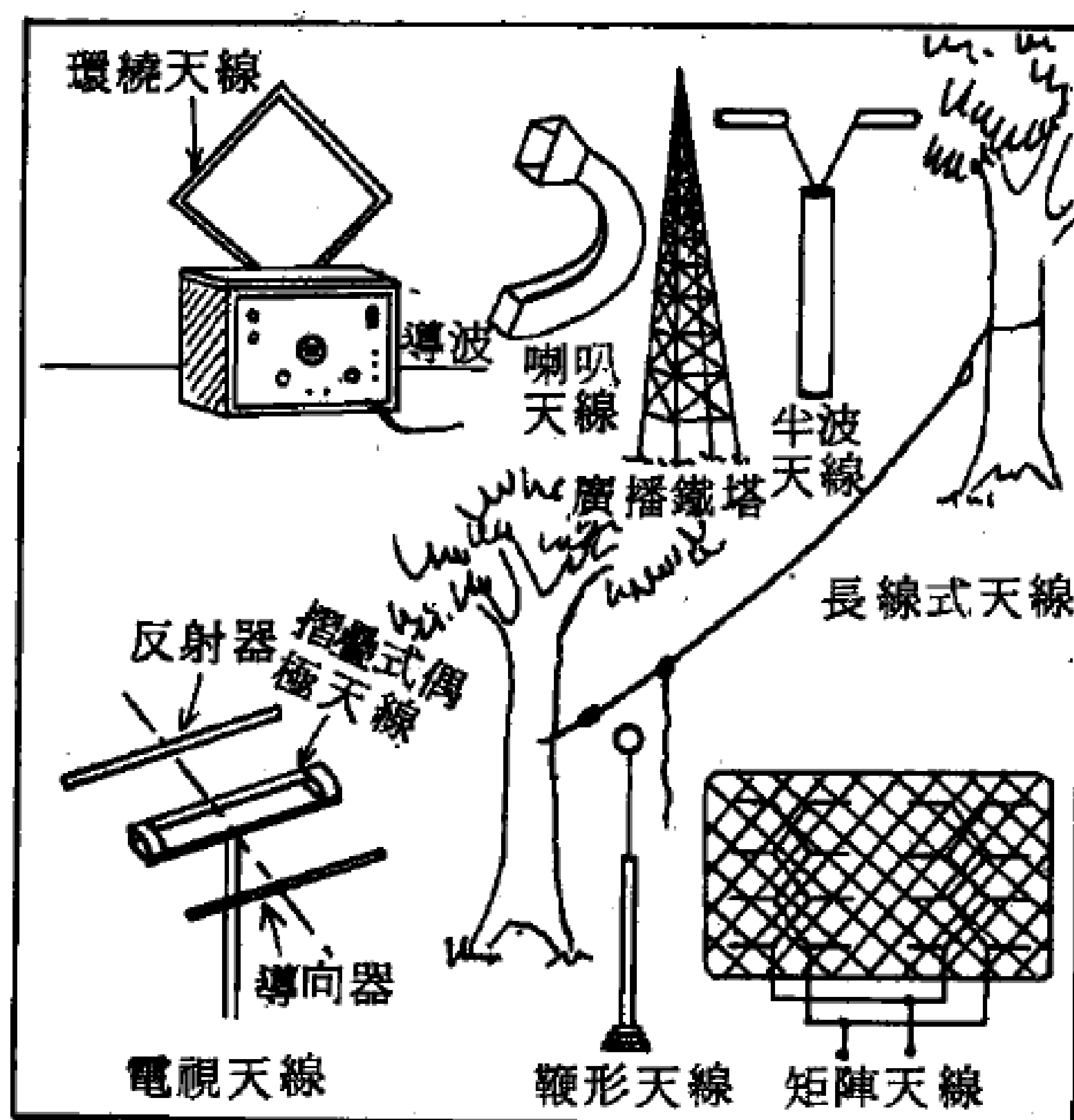


圖 4—145　各種接收及發射天線

收足夠的能量，但距離太遠，接收天線就必需小心設計。

除了已經討論過的半波天線及馬可尼（四分之一波長）天線外，還有很多其他各種的發射及接收用天線。天線的大小及形狀受很多因素影響，如信號的頻率，放射場型的方向性，以及裝置天線的位置等。圖4—145就是各種不同的發射及接收天線。

最簡單的天線是一個與地絕緣的長導線，兩端懸掛在樹上或柱子上。在長導線的一端接一個傳輸線，與發射機或接收機相連接。垂直四分之一波長的接地天線，其大小也不一，大者如廣播臺的天線鐵塔，小者如汽車上的天線。半波（赫茲）天線又稱爲偶極天線，其形狀也各有不同，簡單的是由兩導體所構成，能量由中點供給。而電視天線則由摺疊式偶極天線（*folded dipole antenna*）、導向器（*director*）、反射器（*reflector*）所構成，由於導向器及反射器的存在，所以可對某一定方向的電臺增大其吸收能量的能力。有時又將很多半波天線平行（對地而言）或垂直（對地而言）排成行列（*array*），以得某一特定的場型，其增益（*gain*）也較單一的半波天線大。同時天線也可做成號角（*horn*）形，能量的傳遞藉導波管（*waveguide*）行之，此種號角導波管天線，可將超高頻率（*ultra-high-frequency*）信號，像手電筒光線一樣向某一特定方向作波束式發射。也可將導線彎成環狀，成環形天線（*loop antenna*），環形天線的低頻率和中頻率的方向性大。當環形天線的環形平面，對著發射臺的方向，可得最大響應；如以其側面對準發射臺的方向，則得最小的響應（或稱零響應）。由於環形天線具有方向性，所以被利用作助航器、無線電羅盤的發射體、或被用於定向器（*direction finder*）以決定未知發射機的方向。

【Ⅵ】天線之材料

絕緣本身對天線的工作並不發生影響。無線電波對天線的作用並不決定於天線是用絕緣線或是用裸線。然而，從機械強度方面來講，用絕

緣線作室外天線不如用裸線好。因爲絕緣線多半是單心的，因此在強度方面不如用幾根細線扭成的多心絞線好；此外，絕緣線心的直徑一般要比絞線小，而且絕緣線的總直徑卻大於同樣心線徑的裸線。這就降低了天線的機械強度。這種天線的機械強度在結冰、下雪和下雨，當充滿水分的絕緣線的重量增加幾倍時，降低得特別厲害。

因此，僅在不能獲得專用的天線絞線或普通的裸線時，才可以用絕緣線來做室外天線。

任何導電性能優良並具有足夠的機械強度的導線都可以用作天線。就導電性能來說，鋁是一種完全適合作天線的材料。但它的機械強度卻不夠。用鋁線做成的天線在結冰和刮風時比用同樣直徑的黃銅或青銅導線做成的天線更容易拉斷。因此，鋁線僅在不能弄到更堅固的導線時，才可以用作天線。

【天線之方向作用】(Antenna directional characteristics)

天線發射或者接收電磁能量主要是在某些一定的方向內進行，而並非在所有方向內都是均勻的。任何一種天線都具有不同程度的方向作用，因爲沒有一個實際的天線能在所有方向內都完全均勻地發送能量。欲獲得天線方向作用，可以採用由若干個單獨振子所組成的複雜的特種天線。

由複雜發射天線的一些單獨振子(輻射器)所建立起來的電磁場，在某些方向內相位相同而互相加強；在這些方向內，天線就發射出更多能量。在另一些方向內，各單獨輻射器的電磁場相位相反而互相削弱；在這些方向內，天線就不發射能量。欲使各個輻射器的電磁場之間的相位移在不同的方向內具有不同的大小，輻射器便應當排列在空間的各個不同點上，其間的距離應能與發射的波長相比擬。此種天線在垂直於振子的平面內的方向圖將採用虛線表示形狀。

採用更多的振子，可以使方向圖變得更爲狹窄，使天線的方向作用

加強。

垂直平面內的天線方向作用（即在與水平面成一定角度的方向內的能量輻射）可能由地面影響所生成。因此隨著振子離地高度的不同，天線的方向圖也就可能具有各種不同的形狀。

在接收天線裏，天線方向作用是由於下述原因而發生的。被接收的電波由於接收方向的不同，在走到天線的各個不同的振子時，便具有不同的相位移，因而在各個振子內也就相應地產生出相位不同的電流。這些電流在公共接收電線中疊加起來的時候，由於相位不同，或者是互相加強，或者是互相削弱。因爲這些相位移和在天線發射電波時一樣，是隨著方向而變化的，所以這個天線在作爲接收天線而工作時，也是具有與發射時相同的方向圖。與其他各方面的情形一樣，在方向作用這一點上，同一天線無論用於發射，或是用於接收，都具有相同的特性。

要獲得天線的方向作用，各個輻射器相互之間（或與地之間）的距離與波長相比應當不是很小的，同時還需要用尺寸與波長可以相比的複雜天線。所 只有在短波，特別是在超短波時，才能夠由尺寸不是太大的天線以獲得大的方向作用。在超短波，特別是在厘米波時，除了上述的採用由許多振子所構成的天線以獲致天線方向作用的原理以外，還可以利用其他的方法。例如採用拋物面反射器或喇叭形天線來實現天線的方向作用。

【天線之互易性】（Antenna reciprocity）

基本上，天線爲將電氣信號轉變爲電磁能及將電磁能轉變爲電氣信號之一段導體。第一種轉變方式爲用作發射之天線。將發射機之輸出加於天線端，使電流在天線內流動，如是天線即將電流轉變爲電磁信號，向空中發射。

另一種轉變方式爲用作接收之天線。當一電磁信號經過這天線時，天線內即感應得一電流，然後將此電流加於接收機之信號輸入處。

極大多數的天線，電磁之發射及接收效果是相等的。在很多地方，用一根天線擔任此兩種轉變方式之工作，既能作發射之用又能作接收之用。此即稱為天線之互易性。我們並可以利用此互易性，在不需要同時發射及接收之情況下，只用一根天線兼作發射及接收之用。最通用之例子，即為雷達之天線如圖4—146所示，將天線交替的接於發射機輸出及接收機輸入之間。

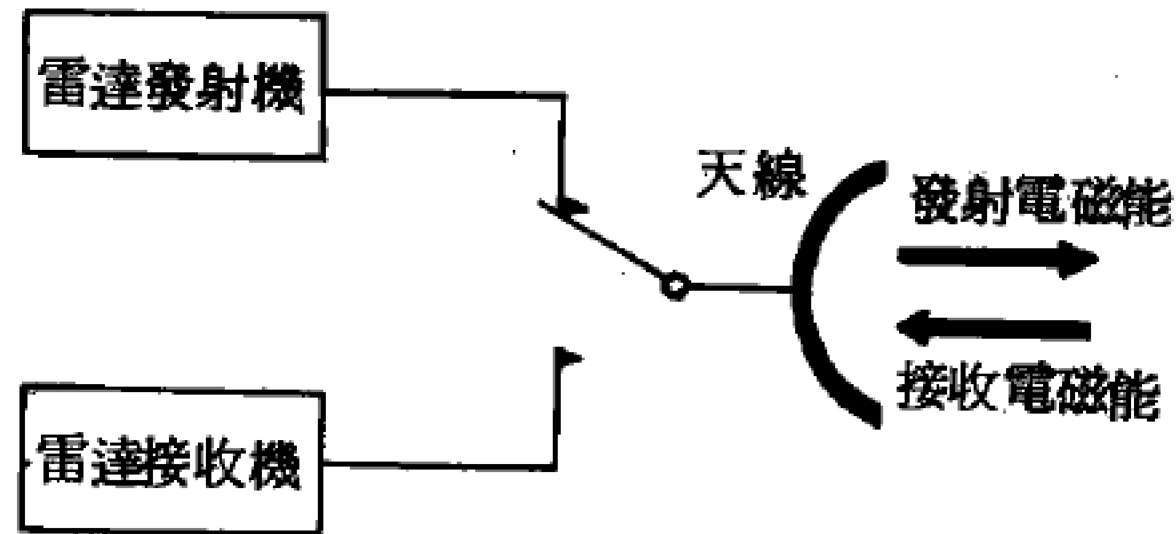


圖4—146

【天線之調諧】(Tuning of antenna)

架設天線時，常常由於空間之限制，或一個天線用於某一範圍內若干不同頻率，因而天線之長度往往與使用頻率不能完全配合，變更天線實際長度有時極為困難，不容易做到，所以必須用其他方法，調整天線之電氣長度，以求工作效率之提高。

此種方法稱為天線之調諧，如圖4—147所示，在發射機饋送電能至天線之輸出處加電感量或電容量，使天線之電氣長度加長或減短，當加接電感量時，天線之諧振頻率降低，即電氣的波長加長，如加接電容量時，天線之諧振頻率增高，即電氣的波長縮短。

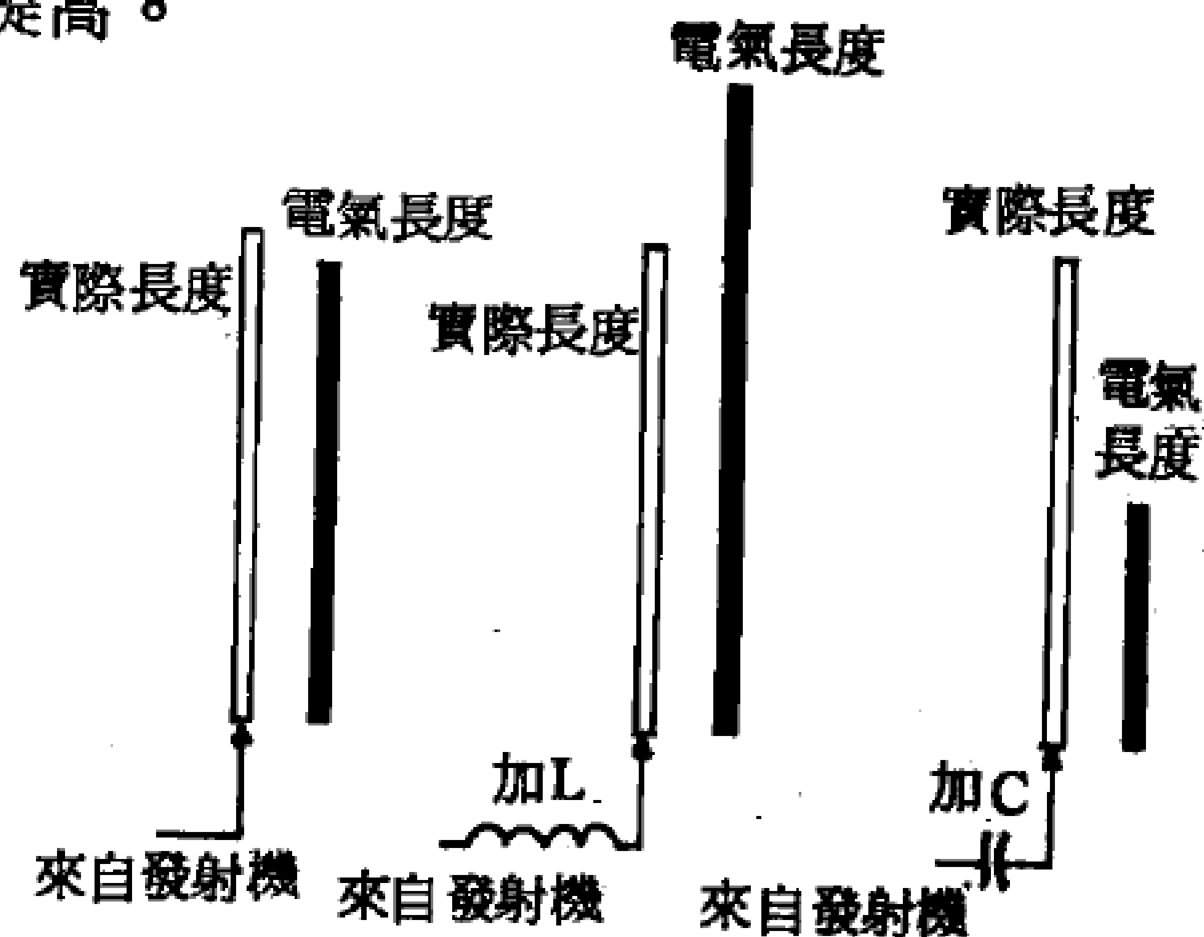


圖4—147 天線之調諧

簡言之，加電感量時，其性能相當於加長天線，加電容量時，相當於減短天線，所以我們可以加適當大小之電感量或電容量，以連續調節天線之長度。

【天線方向圖】(Antenna-directivity diagram)

表示天線方向性的特性曲線，即是天線在各個方向內所具有的發射或接收能力的圖形。方向圖是按下述方法繪製的。從某一點（例如從中心點）引出若干線段，各段的長度以一定的比例表示天線沿該方向所發射的能量。將各線段的終端用匀滑曲線連接起來，此曲線便是方向圖（此種圖叫做“極坐標圖”）。舉例來說，如果天線是垂直導線，則其在水平面內向各個方向的發射都相同，在此平面內的方向圖就是一個圓周。

現設有六個垂直偶極子組成的天線在水平面內。此處偶極子是排在一條水平直線上，彼此間的距離等於半個波長，並且這些偶極子內的電流相位是相同的。任何一種天線，在發射與接收無線電波時，都具有同樣的方向性。換言之，若天線在某一方向內所發射的能量比另一方向大多少倍，則此天線由從該方向到來的無線電波中所接收到的能量也比由另一方向接收到的大多少倍。因此任何一種天線結構，無論對於發射，或是對於接收來說，都有著相同的方向圖。方向圖是天線的一個重要特性，故在對天線進行研究時，總是要繪製其方向圖。爲此目的可應用能移動的振盪器，將振盪器圍繞天線移動，測量接收強度，就可將方向圖繪製出來。

【天線列】(Antenna arrays)

一般之天線，只是一根導體接於發射機輸出之簡單天線，此種天線只適用於方向性不太重要之工作，如商用廣播所用之天線等。倘我們需要將無線電波集中於某一方向時，則必須使用比較複雜之天線。方向性高之天線在 *V.H.F.* 及 *U.H.F.* 通信尤爲重要，因此種通信必須將發射電能集中於地波之直接波。

定向天線（ *directional antenna* ）通常由若干個不相連接之單元，互相作用，以獲得所需要之方向性。此種由若干個單元組合而成之天

線，稱爲天線列，其特性由所用單元之數量及程式而定，天線列如圖 4 —148 最常用者爲三個單元，即偶極體（ *dipoles* ）、反射體（ *reflector* ）及導向體（ *director* ）。 偶極體主要爲中心饋電之單根天線，通常爲半波長。反射體及導向體均爲導向之單元，它們都能使正常之輻射型改變。

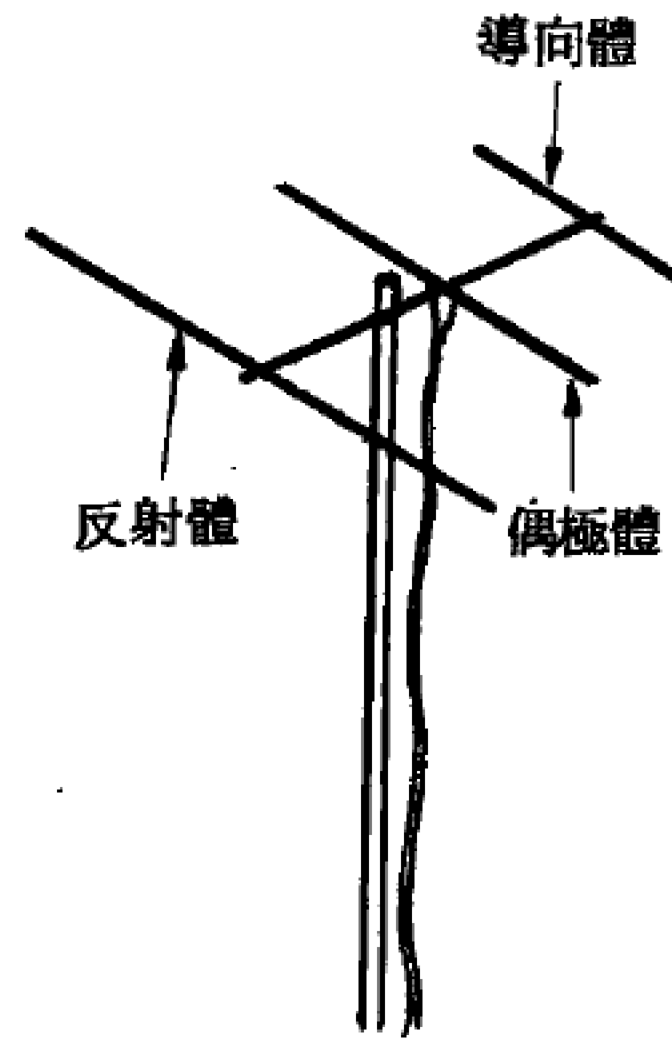


圖 4 — 148
天線列之方向輻射型很大，通常天線列所用之單元愈多，則方向性愈大。

【天線有效高度】（ **Antenna effective height** ）

這是一個表徵天線發射及接收電磁波能力的數值。任何一個直線導體，當饋以高速交變的電流時，都會發射電磁波，而且導體越長，所發射的電磁波的場強就越大。與此相似，位於電磁波場內的任何導體，都能感應產生電動勢，該導體越長，所感應的電動勢也就越大。但導體所生的效應不僅與導體的長度有關，而且與電流沿導體的分佈狀況有關。如果在導體各個不同部分的電流強度不同，則此各部分在導體所產生的發射或接收無線電波的總效應中所起的作用亦不同：電流較弱的部分所起的作用較強。同時，在發射天線內由於發射機電動勢的作用所建立起來的電流，以及在接收天線內由於加至天線的電磁波的作用所建立起來的電流沿天線的分佈通常是不均勻的：在天線之各不同部分的電流強度互不相同。其所以如此，是因爲在天線內通常有駐波存在。於是整個導體所產生的效應就小於在導體各個部分內的電流強度均彼此相等且等於電流波腹的強度時所生的效應。

爲了估計電流沿天線的不均勻分佈所給予實際天線的影響，可將此天線與一假想導體相比較，該導體所產生的效應與天線相同，不過其中

沿全長的電流強度相等，並等於天線基座的電流強度。要使此導體所產生的效應與實際的天線相同，則由導體與電流分佈曲線圍成的陰影面積在兩種情況下應彼此相等。因而假想導體便應適當地比實際天線短些。這個假想導體的長度便叫做此一天線的有效長度。現在實際中所應用的還只是較長的波，並且天線工作於接地的狀態，對於無線電波的發射或接收來說，重要的便不是天線導體的全長，而只是導體垂直部分的長度或天線的高度。因此便採用術語“天線有效高度”來代替了術語“有效長度”。不過有效長度這個術語應用得更爲普遍一些，因其適用於任何天線，不只限於垂直的和接地的。由前面所述可知，當天線垂直部分的電流強度與基座部分的電流強度越接近時，天線有效高度便越接近於天線的幾何高度。爲了使天線整個垂直部分內的電流強度與基座部分的電流強度相接近，便在天線上加添了水平的部分。於是天線的水平部分便升高了天線有效高度，使其接近於幾何的高度。

【天線阻抗】(Antenna impedance)

欲求發射機傳送最大電力至天線，發射機之輸出阻抗，必須與天線之阻抗相匹配。因此所用天線之阻抗，必須先知道。惟天線之阻抗沿天線全長在變，尋求之法，可參照一般電路內，電流最大時，阻抗最小；電流最小時，阻抗最大之原則，由沿天線各點電壓及電流之分佈，以求天線各點之阻抗分佈。

如爲半波赫兹天線時，其阻抗之分佈如圖4—149所示。由此圖可以看出，中心點電流最大，阻抗最小。如天線接於低輸出阻抗之發射機時，爲求傳送之電力最大起見，應在天線之中心點饋入電能。如使用高輸出阻抗

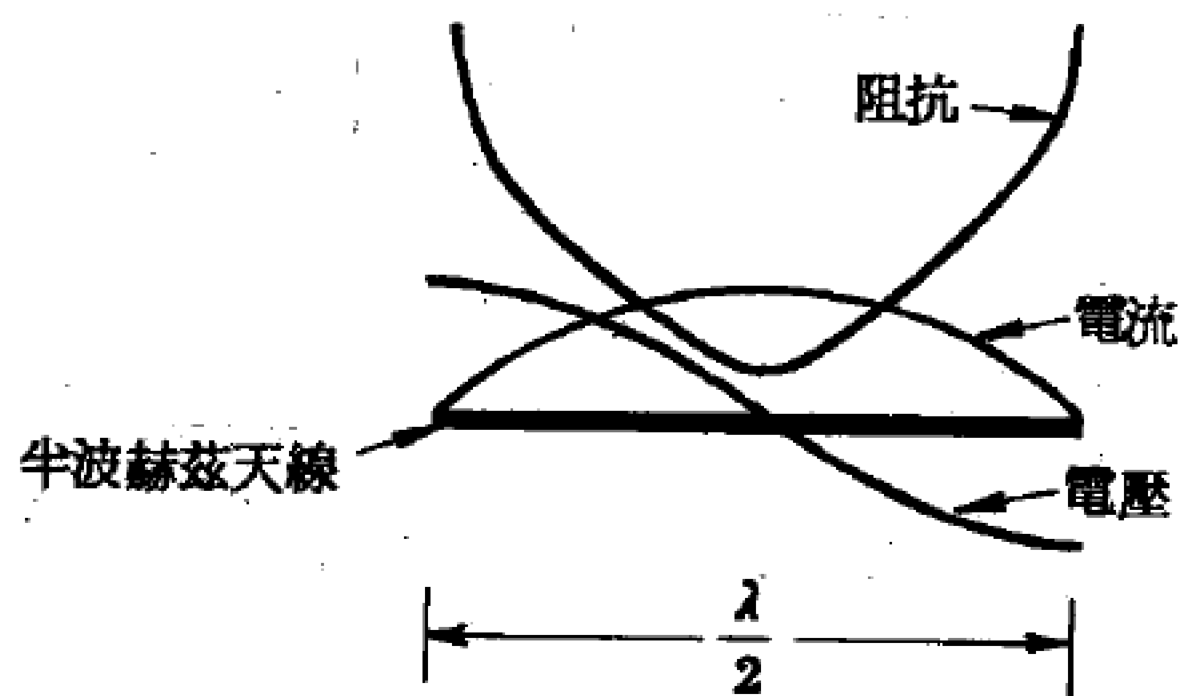


圖4—149　天線阻抗

之發射機時，應供電至天線兩端之任一端，此處阻抗最大。半波赫茲天線中心之實際阻抗約為 73 Ω，兩端之阻抗則約為 2,400 Ω。

在馬可尼天線中，低阻抗點在靠地之一端，另一端之阻抗最高。

【天線柱】(Antenna mast)

一條垂直金屬柱作天線用，一般旅行收音機多用之。支持發射天線之金屬柱亦以此名之。

【天線指示器】(Antenna indicator)

指示出天線中有電流存在的儀器，它並且可以確定這個電流什麼時候達到最強。天線指示器用於發射機和天線饋電線的調諧以及在天線中得到最大的電流。

用於短波發射機的最簡單的指示器就是一個白熾燈，它接在天線或地線與發射機相連接的地方。根據燈泡的亮度，便可判斷天線中電流的強度。

如果天線中的電流很小，而電壓很大，則採用電壓指示器。最簡單的電壓指示器是一隻氖燈。

【天線排】(Antenna array)

幾根天線，彼此耦合，取得方向性者，即謂之天線排。

【天線電流】(Antenna current)

當發射機之輸出加於一天線時，即有一電流沿天線來回的流動。惟因天線並不成為閉路，所以由此電流所產生之電子分佈，並不均勻。此可從圖 4 — 150所示，發射機加於一簡單天線中心所發生之情形看出。

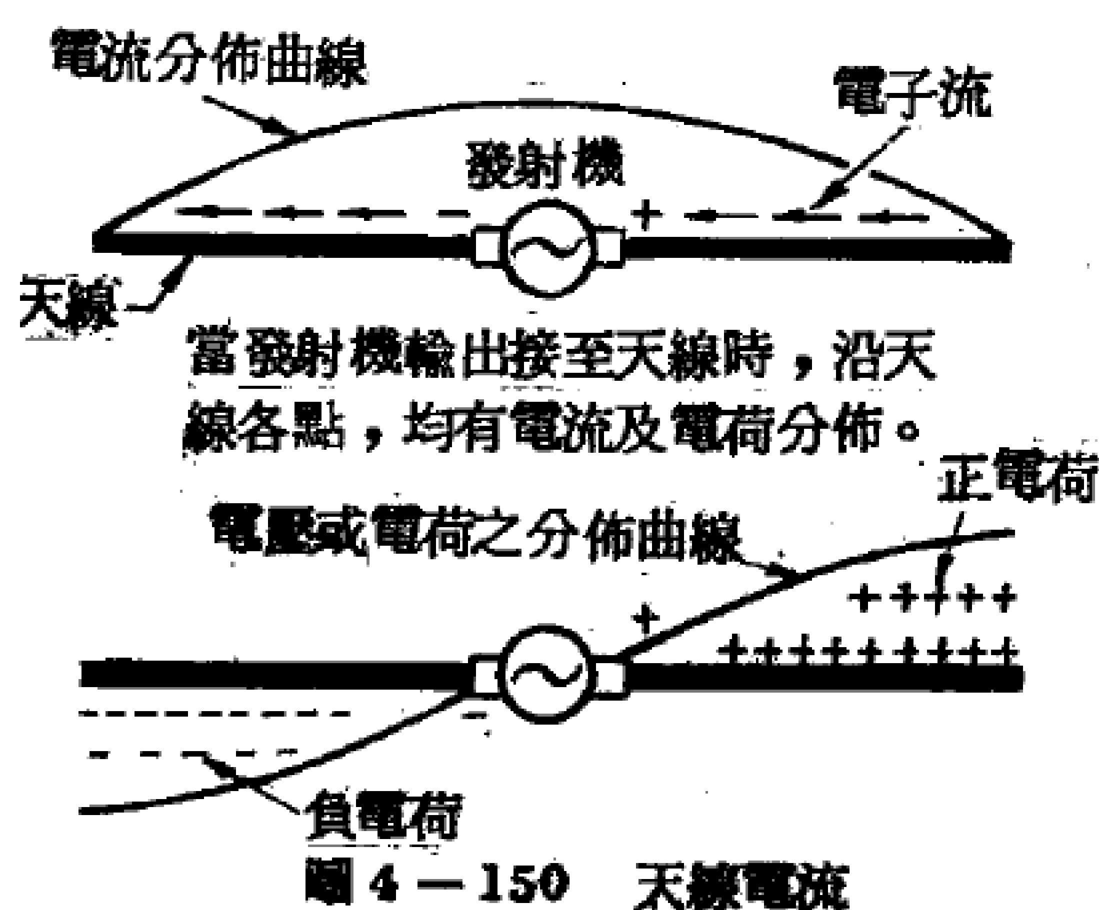


圖 4 — 150　天線電流

設某一瞬間發射機之左邊爲負，右邊爲正，天線內之電子被負端所拒，而被正端所吸，產生一如圖 4—150 所示之電流。但因天線之兩端並無通路，所以在天線之左端負電荷增加，而右端之正電荷增加。天線兩端處電荷最大，電流爲零。反之在天線之中心，則電荷爲零，而電流最大。因發射機之輸出循正弦波變化，輸出端之極性亦循正弦波變化，故沿天線各點所產生之電流及電荷亦循正弦波變化。

不過此種情形，是一種理想的天線電流，只有在天線長度等於發射機輸出頻率半波波長時，才會產生。

【天線電容量】(Antenna capacity)

指天線與大地間自成電容器之容量，其儲電量之大小與水平部長度成正比，與其高度成反比。玆將普通單條天線之電容量，列於下表中。

單條天線之電容量

天線高度（呎）	水平部之長（呎）				
	30	45	75	90	100
20	59 μF	83 μF	111 μF	135 μF	179 μF
30	58 μF	81 μF	109 μF	131 μF	175 μF
40	57 μF	80 μF	107 μF	123 μF	173 μF
60	57 μF	80 μF	105 μF	121 μF	171 μF
100	56 μF	79 μF	104 μF	119 μF	169 μF

【天線電感量】(Antenna inductance)

高頻率電流沿天線所分佈的電感量。其量之大小，得依天線之高度與水平部及垂直部之長度而異。玆將普通單條天線之電感量，列於下表中。

單條天線之電感量

天線高度（呎）	水平部與垂直部之長（呎）							
	30	45	65		75		100	
	水平部 (μH)	垂直部 (μH)	水平部 (μH)	垂直部 (μH)	水平部 (μH)	垂直部 (μH)	水平部 (μH)	垂直部 (μH)
20	20	10	30	10	50	10	68	10
30	20	15	30	15	51	15	69	15
40	20	21	30	21	52	21	71	21
60	20	34	31	36	53	34	72	34
100	20	61	31	61	53	61	73	61

【天線增益】(**Antenna gain**)

當處理一圓形、正交叉或方環形天線中的一個單獨偶極子天線或一單節（ *single section* ）時，常注意其水平及垂直的二輻射圖型。因任何向天空方向上射的信號，都可認爲是浪費的，故實際上所有調頻廣播天線，常用數個天線單元，均作水平放置，依一定的間距，上下垂直疊置一起，如是可減低其在垂直方向的輻射功率，而集中增加水平方向的輻射功率。但在大多數情形中，當所用的天線單元數目超過某一數值時，也會減低有效的集中效果，故必須加以限制。

當水平方向的輻射功率，在實效上增加時，則稱此天線在此方向有一增益。此種增益有二種因素，一爲天線的輻射場增益（ *antenna field gain* ），另一爲天線的功率增益（ *antenna power gain* ）。惟自天線輻射的功率決不致於超過輸入於天線的功率，最佳者爲使二者約略相等，因在輸送線中，總有些微損失。故凡言及天線的某一增益，乃指以某一標準爲基準時輻射功率有效量的增益。

換言之，當一接收機距離發射機 20 哩，發射機用一水平極化的單

獨偶極子天線；在此一接收機的輸入處便出現某一定量的信號電壓。如偶極子天線的數目依上述方法增加，則在垂直方向的天線輻射便減少，而水平方向者便增加，即在垂直方向的輻射信號被強迫推向水平方向，故在 20 哩外的接收天線的輸入信號電壓，便有所增加。

天線的功率增益，較其輻射場增益用得普徧，可表示天線的工作情況，若以垂直半波長天線爲基準，則等於輻射場增益之平方，即

$$功率增益 = (輻射場增益)^2$$

若欲在所需的方向，達到有效輻射功率的特定量，可有兩種方法：一爲用一高功率發射機，但使用一簡單的天線；另一是用一發射功率低得很多的發射機，但具有甚高功率增益的天線。當然以後者較爲經濟，故調頻廣播電臺常用具有足夠功率增益的多元（*multi-element*）天線以涵蓋所需的服務面積。

【天線增益及阻抗】（Antenna gain and impedance）

由於各種形式天線之設計不同，故其特性亦不同，有的方向性較大、有的增益較大。它們的阻抗不同，所產生之輻射型亦有不同，有的頻率選擇性大、有的可用於寬頻帶。增益及阻抗爲天線設計時，兩種最易預計之特性，因此兩種特性，在程式相同之各個天線內變化不大。反之如方向性、靈敏度及輻射型，雖相同程式之天線，亦因各次之設計而發生變化。下表所示爲極常用天線之典型增益及阻抗值。

各種寄生天線列之輸入阻抗及增益約數

天線程式	輸入阻抗（歐姆）	增益（以偶極天線爲準）（*db*）
偶極天線	72	0
複接偶極天線	300	0
偶極天線及反射體	60	3～4
複接偶極天線及反射體	250	3～4

天　線　程　式	輸入阻抗 （歐姆）	增益 （以偶極天線爲準） (db)
偶極天線，反射體及導向體	20～30	4～6
複接偶極天線，反射體及導向體	80～120	4～6
堆積偶極天線	35～40	3～4
堆積複接偶極天線	150	3～4
堆積偶極天線及反射體	25～30	6～7
堆積複接偶極天線及反射體	100～120	6～7
正交偶極天線	35～40	－1.5
正交複接偶極天線	150	－1.5

【天線線圈】(Antenna coil)

與天線串接的線圈，它將天線在天空中截取得的微弱電能，耦合於接收機的輸入電路。

【天線諧振頻率】(Antenna resonant frequency)

天線本身具備了感應量、電容量及電阻，故長度與高度決定後，本身即有一自然頻率，此自然頻率就是天線所諧振的基本頻率。

【天鵝星座】(Cygnus)

在天琴星座和飛馬星座之間位於銀河之中的有天鵝星座，這個星座的形狀，是一個很大的十字，十字的一端是一顆叫做天津四(*Deneb*)的一等星。這星座所以名爲天鵝，因爲這十字架較短的橫軸可以看做兩隻擴張著的鳥翼，而β星則算是鳥頭，α星（即天津四）算是鳥尾。這隻巨大的天鵝，伸長著頭頸，展開著翅膀，安祥地在銀河的水面低飛著。在中國，這星座是看作一隻平底的船的。所以稱之爲天津之意思，天河（即銀河）上的渡船。見圖4－138。

參閱“天琴星座(*Lyre*)”條。

【天蠍星座】(Scorpio)

天蠍爲夏、秋黃昏後南方天空顯著的星座。爲全天體中最大之星，其直徑達地球軌道直徑的兩倍。爲黃道十二宮之一，位於銀河叢星稠密之處。附近諸星之分佈，略如圖 4 —151 所示，天蠍之名亦由此形狀而起。其中最亮者爲天蠍之 α 星。中文名大火，蓋由於在天空晴朗時，南方天空不十分高處，人們便可以看到它光芒很強，星色亦殷紅，大火之稱，由是得名。大火並其前後二件，合稱爲心宿三星。

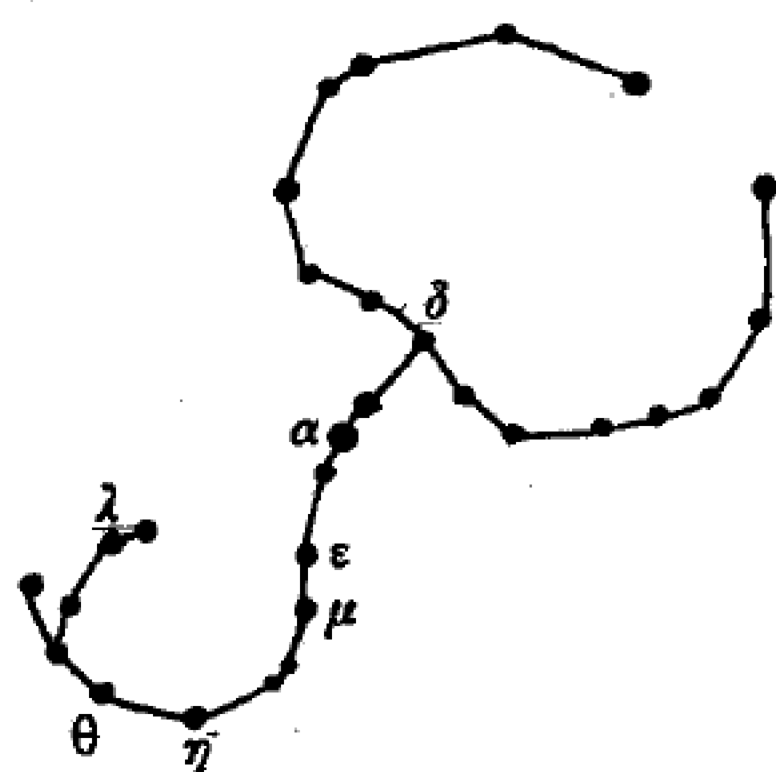


圖 4 —151　天蠍星座

【天體】(Celestial body ; Heavenly body)

凡是密佈在地球大氣以外天空上的星辰，都叫做天體。如太陽、月球、行星及其衞星、流星、彗星、恆星、星雲、星團、河外星系等。

【天體力學】(Celestial mechanics)

詳閱" 天文學 (*Astronomy*) "條。

【天體物理學】(Astrophysics)

天文學之一部門。應用物理原理和法則研究恆星及其他天體之結構、化學組成、溫度等之科學與天文學及物理學有密切關係。

參閱" 天文學 (*Astronomy*) "條。

【天鷹座】(Aquila)

詳閱" 牽牛星 (*Aquila*) "條。

【夫牢因和斐】(Joseph von Fraunhofer 1787 —1826)

德國光學及物理學家，1787 年三月六日生於巴伐利亞省。 12 歲時在慕尼黑做磨製透鏡學徒，後在慕尼黑附近的光學研究所工作，並於 1818 年升爲所長。善於磨製透鏡，並建造許多當時最佳的折射望遠鏡，發明繞射光柵以測定光的波長，研究並小心測定太陽光譜中的576條

黑線，今稱為夫牢因和斐線。1826 年六月七日因肺病逝於慕尼黑。

【夫牢因和斐譜線】(Fraunhofer lines)

太陽光吸收光譜上的細暗線。這些暗線乃因陽光中某些波長的光被太陽大氣中的氣體和蒸汽所吸收，有些則是被地球的大氣所吸收。

1802年午拉士呑 (*W. H. Wollaston*) 首先發現七條暗線，當時他以為是太陽光譜中七色光間的分界線。1814 年夫牢因和斐發現 600 條 (目前已知者有好幾千條) 暗線，並將其中最顯著的暗線標上字母。下列是幾種重要暗線的代表字母、來源和波長：

A	氧	7,594 埃	(深紅)
B	氧	6,867 埃	(紅)
C	氫	6,563 埃	(紅)
D_1	鈉	5,896 埃	(黃)
D_2	鈉	5,890 埃	(黃)
E	鐵	5,270 埃	(綠)
F	氫	4,861 埃	(藍)
G	鐵及鈣	4,308 埃	(紫)
H	鈣	3,968 埃	(深紫)

對此種奇異現象之解釋，應歸功於德國大物理學家克希何夫 (*R. G. Kirchhoff*)。當時他做過的實驗，稱為鈉線之自蝕，如圖 4 — 152所示，令一強烈的光源 (譬如弧光燈之類) 照射一狹縫 *Sp* ，並在其後方置一稜鏡，則幕上便會顯出一由紅至紫且不含上述暗線之無間隙的光譜。此種光譜，稱為連續光譜。所有光譜中之各色，當然均包括在弧光之內而毫無間隙。倘再用單色的黃光，亦卽一

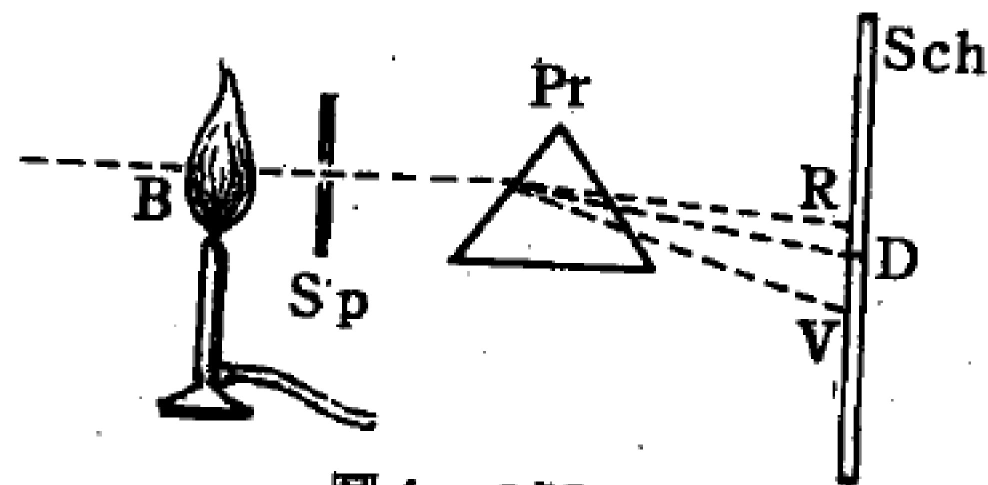


圖 4 — 152
鈉線自蝕實驗之基本裝置

種鈉焰（將事先浸過食鹽溶液的鉑絲置於本生燈之火焰中即得）照射狹縫，光譜中便只存有一條單獨的黃線，即所謂鈉線。除此以外，此一實驗中並無其他特殊之處可言。但是克希何夫卻能採取一決定性的步驟，現在他再度用弧光燈照亮狹縫，但此次他卻將鈉焰置於弧光燈與焰縫之間。根據一般的想法，我們總以爲光譜經過此次強光的照射，其中的黃線一定會變得更明亮，但事實剛好相反；在原來的位置上，那條著名的鈉線非但沒有增亮，反而從太陽光譜中被消除了，於是克希何夫導出他的理論：白熾的氣體與金屬蒸氣所吸收之光，與其本身所發射者成正比。在上一實驗中，從弧光燈發出的黃光能爲黃色鈉焰所吸收，故從鈉焰發出的十分黯淡的黃光，在與弧光燈所發出的其他強烈的光線對比之下，遂於光譜上顯得深暗而幾乎近於黑色，而光譜中的黑暗處所，則只有在對比之下才會顯得黑暗，實際上，這些處所只不過亮度差些而已。如此得到的光譜被稱作吸收光譜。

如同克希何夫最先提議的，夫牢因和斐線係因原子及分子吸收對應之頻率光所致，這些原子及分子存在於此輻射必須通過的太陽及地球的大氣中，從別的星球輻射中亦觀察到相同之吸收線，此可提供其大氣組成之線索。

參閱“光譜（*Spectrum*）”條。

【夫牢因和斐繞射】（Fraunhofer diffraction）

光線繞射時，若光源和觀察點都和繞射光柵有無窮遠的距離，即使得入射進光柵的光和觀察點所觀察到的繞射光，都可視爲平行光（如果是在有限距離內觀察，也都加上透鏡，使平行繞射出的光，聚集到焦點平面上），在這種情況下的繞射稱爲夫牢因和斐繞射。下面介紹不同形狀之狹縫所產生的繞射情形：

【I】圓孔之夫牢因和斐繞射

圓孔產生的單色光繞射圖案，係由一明亮圓盤周圍環繞著黑暗與明

亮交替的圓環所組成，如圖 4 —153 中所示者，中央圓盤與相繼諸圓環之半徑，並不遵循一簡單順序而變。因幾何上的處理，故此繞射圖案之

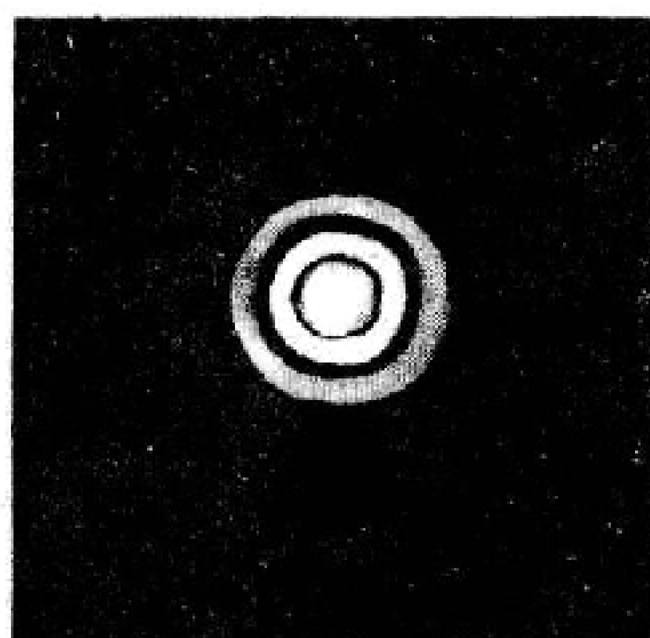


圖 4 — 153　小圓孔的夫朗因和斐繞射圖案

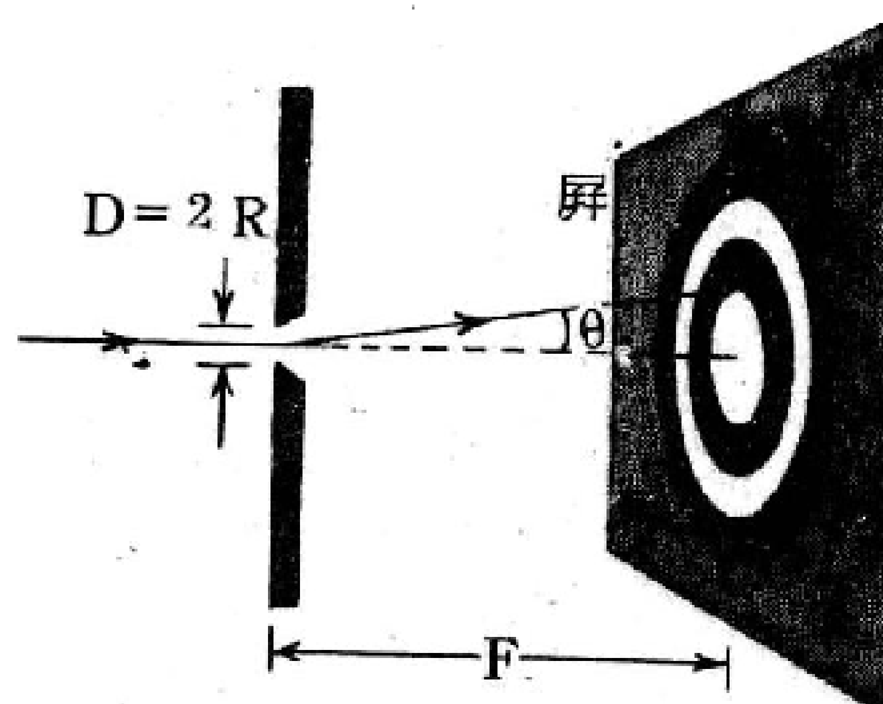


圖 4 — 154

數學分析，較矩形狹縫之情況複雜得多。設 R 為圓孔之半徑（見圖 4 — 154），第一個暗環所對應之角 θ，由條件

$$\frac{2R\sin\theta}{\lambda} = 1.22 \quad 或 \quad \sin\theta = 1.22\frac{\lambda}{2R}$$

決定。當 λ 較 R 為小時，上式亦可書為

$$\theta = 1.22\frac{\lambda}{2R} = 1.22\frac{\lambda}{D}$$

式中 $D = 2R$ 為孔之直徑，θ 以弧度表示之；此表示式亦定為孔之鑑別率，再度依據瑞立所定義，其鑑別率是在能區別個別繞射圖案之條件下，遠處兩波源而來的兩平面波之入射方向間最小之夾角。當一波源之繞射圖案中的明亮圓盤中心，落在第二波源之繞射圖案中第一暗環上時（圖 4 — 155），則二波源恰能鑑別，角度分離由 $\theta = 1.22\lambda/D$ 決定。

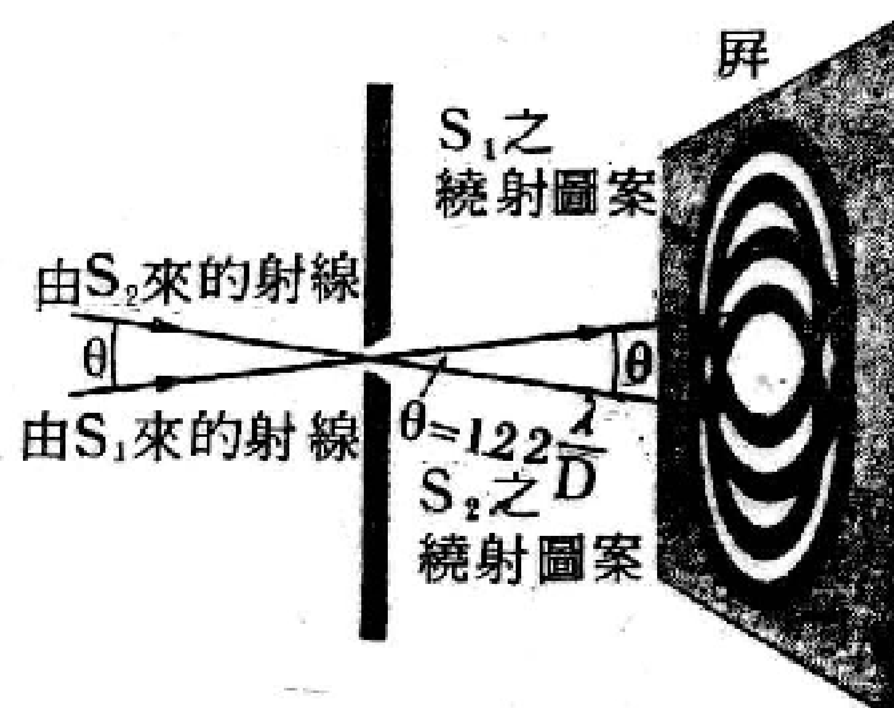


圖 4 — 155　小圓孔之鑑別率之瑞立法則

一透鏡實際上為一圓孔，因此一點光源經過透鏡之像，事實上，它應為繞射圖案。然而透鏡之半徑一般

說來，較之光波之波長甚大，爲大部分的實用目的起見，繞射效應可以忽略

【 II 】兩相等且平行狹縫之夫牢因和斐繞射

若考慮寬度均爲 b 的兩狹縫，相距一距離 a（圖 4 — 156 ）。就相當於角度 θ 之方向言，現有來自每一狹縫的兩組繞射波，實際所見者，是此諸波干涉之結果。換言之，我們現有者實爲繞射與干涉的組合。

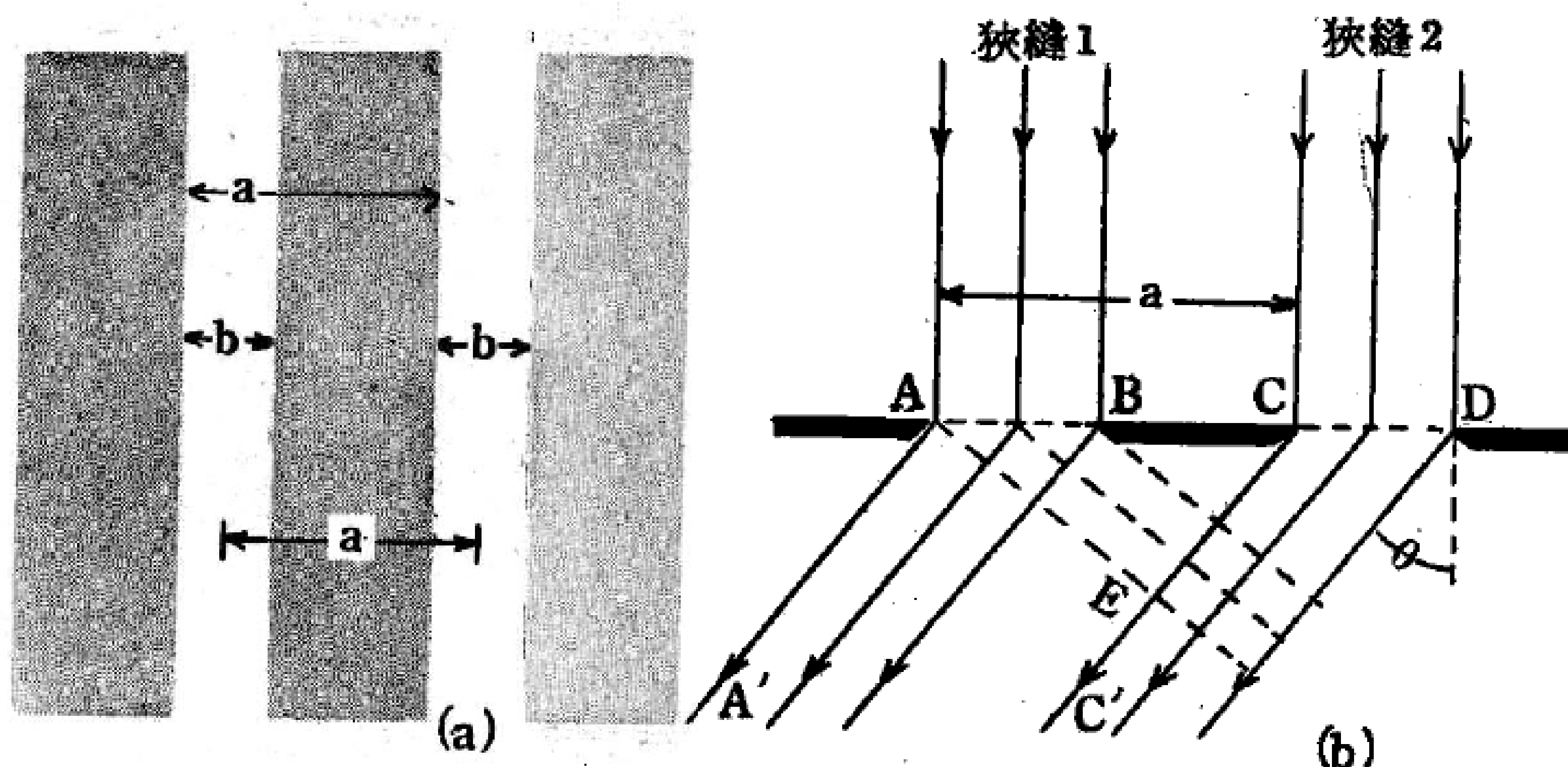


圖 4 — 156　兩平行長狹縫之正面圖與截面圖

若兩狹縫相同，干涉圖案爲兩同步波源於方程式（圖 4 — 156(b)）

$$a\sin\theta = n\lambda \quad \text{（干涉圖案之極大）}$$

所指定之方向上出現極大。干涉圖案之強度分配，被單一狹縫之繞射圖

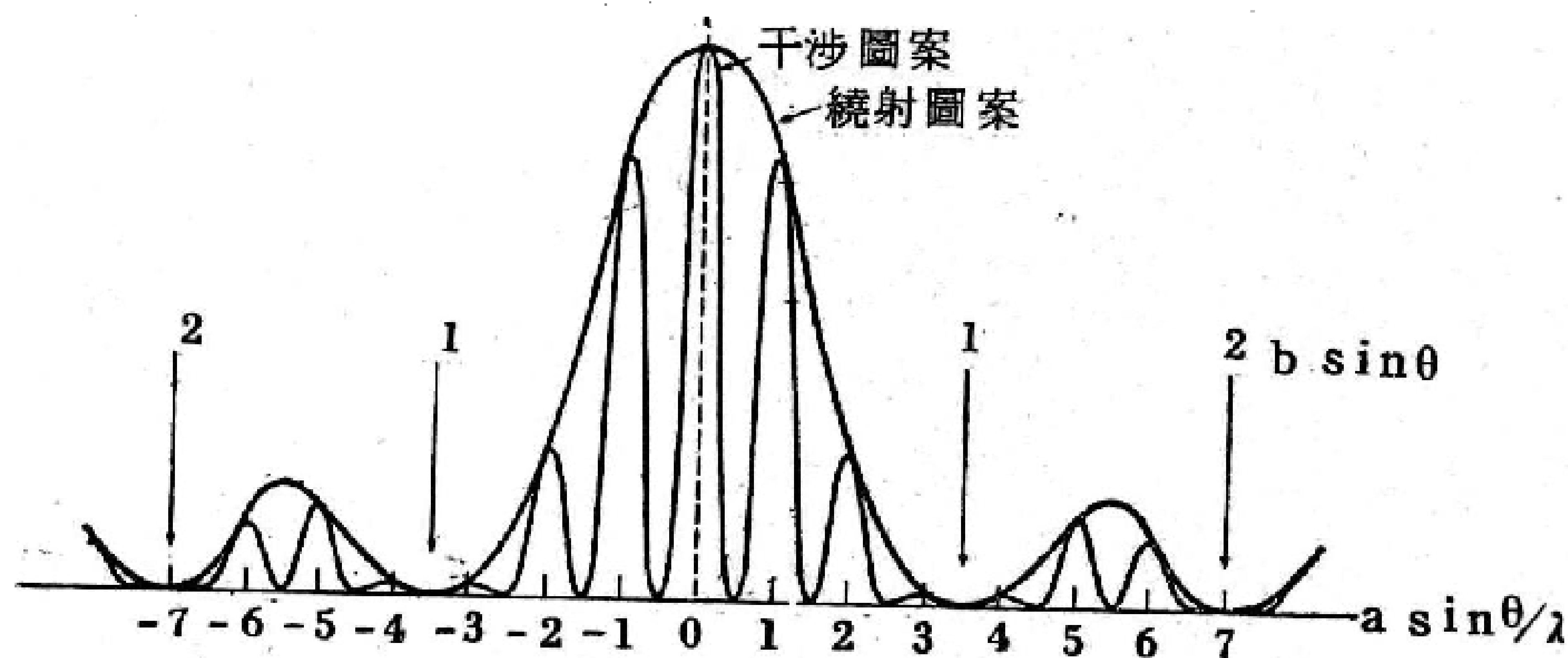


圖 4 — 157

兩平行長狹縫繞射圖案之強度分佈（沿垂直於入射光的一平面組上）

案分配所調變。

繞射圖案之諸零值係由

$$b \cdot sin\theta = n'\lambda \quad \text{（繞射圖案之零值）}$$

表之，式中 $n' = \pm 1$ ，± 2……。因 a 大於 b ，繞射圖案之諸零值間隔較之於干涉圖案中諸極大間隔為大。因此，當有二狹縫時，所產生之諸明亮條紋，較之於單一狹縫所產生者更為狹窄，且更密接。合成強度之分配示於圖 4 — 157 及圖 4 — 158 。

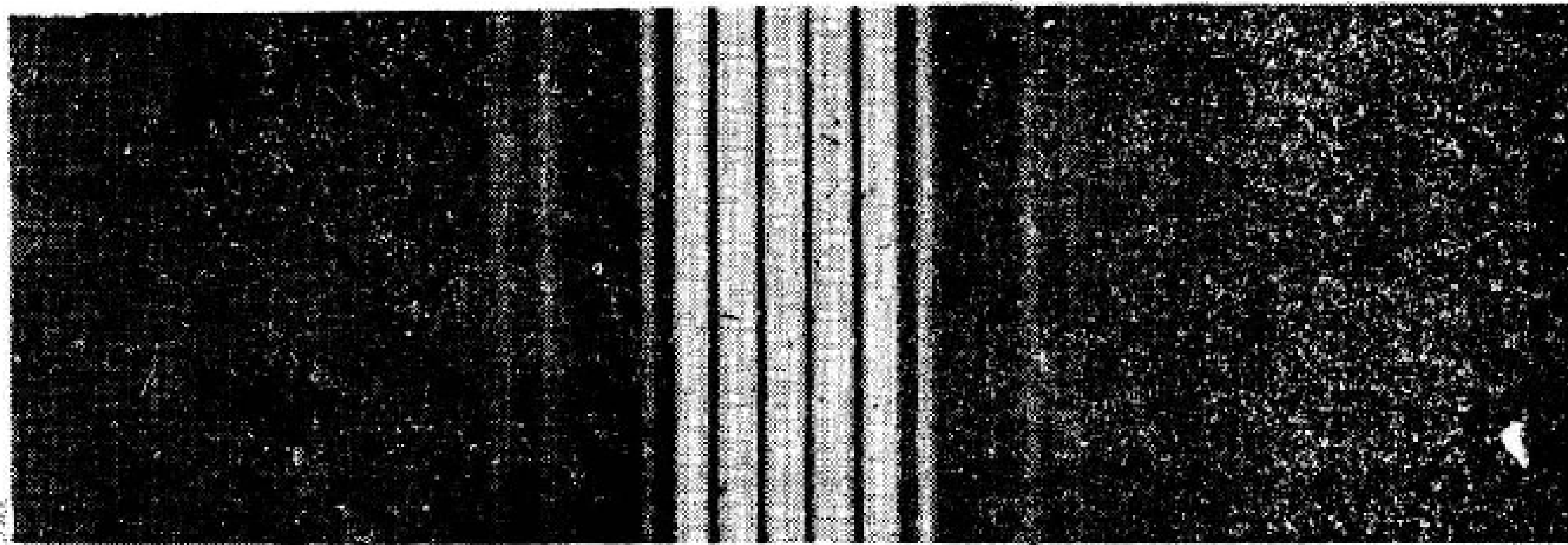


圖 4 — 158　兩平行長狹縫之夫牢因和斐繞射圖案

【夫倫克缺陷】（ Frenkel defect ）

晶體內各原子（或離子）在結合成晶體時，應按照一定的規則結合，因此他們彼此之間排列有如方格般地整齊。如果其中有一原子（或離子）離開原有的排列位置，而擠入其他原子（或離子）之間的空隙中時，則在晶體中成一空位晶格，同時塞住一間隙，使整體內的某處產生偏差，這是晶體各種缺陷中點缺陷（ *point defect* ）的一種，稱為夫倫克缺陷。在平衡狀態下，若將一原子（或離子）移動到間隙所需的超額能量是 E_i ，則整個晶體內夫倫克缺陷的數目 n ，和溫度的關係為

$$n = (N'N)^{1/2} \, exp\left(\frac{-E_i}{2kT}\right)$$

上式是由統計的方法所導出，式中 N 、N' 分別表示晶體內晶格及間隙的數目，k 為波玆曼常數。而 $n \ll N$ 、N' 。

【夫倫克激發】(Frenkel excitation)

在以電子－電洞對解釋激子時，該電子與電洞的結合強弱不一，此強弱由電子與電洞之間的平均距離而定。強者此距離大約爲原子半徑大小，故由電子－電洞對形成的激子侷限在一離子(或原子)之內，稱爲夫倫克激子(*Frenkel exciton*)。弱者其電子與電洞結合的平均距離約數倍於晶體格子常數，稱爲莫特、萬尼爾激子(*Mott-Wannier exciton*)。在絕緣體中，莫特、萬尼爾激子的能量常低於能量間，而夫倫克激子能量在十數倍左右，並能自一離子(或原子)傳遞至另一離子(或原子)。產生夫倫克激子的激發稱爲夫倫克激發。

探討晶體空位時，將一原子(或離子)自晶格位置移至間隙位置的激發可謂夫倫克激發，這種形式的空位則稱夫倫克缺陷。夫倫克缺陷之產生並不影響晶體的體積與密度，對單元子晶體的夫倫克缺陷之平衡密度n可求之如次：設晶格位置及間隙位置的密度爲N及N'，將一原子自晶格位置移至間隙位置的能量爲E_i，於是熵可寫爲

$$S = k\ ln\ \{\frac{N'!}{n!(N'-n)!}\frac{N!}{n!(N-n)!}\}$$

$$\simeq k\ \{N'\ ln\frac{N'}{N'-n} + N\ ln\frac{N}{N-n} + n\ ln\frac{(N'-n)(N-n)}{n^2}\}$$

這是二能階問題，能量可寫爲$E = nE_i$，自由能$A = E - TS$爲最小，即$\delta A = 0$，

或

$$\delta n\ \{E_i - kT[\frac{N'}{N'-n} + \frac{N}{N-n} + ln\frac{(N'-n)(N-n)}{n^2} - \frac{n}{N'-n} - \frac{n}{N-n} - 2]\}$$

$$= 0$$

$$n \ll N、N'，於是 E_i \simeq kT\ ln\frac{(N'-n)(N-n)}{n^2}$$

式中 k 爲波茲曼常數，T 爲絕對溫度。

在 $n \ll N$、N' 時，得 $n \simeq (NN')^{1/2} exp\left(\frac{-E_i}{2kT}\right)$，此即在溫度 T 的平衡狀態，單元子晶體夫倫克缺陷的密度。純銀鹵素中，可以偵知夫倫克缺陷相當重要。

【夫累涅爾】(Augustin Jean Fresnel 1788—1827)

法國光學家，1788 年五月十日生於法國諾曼第。在政府機構任土木工程師，1814 年因反對拿破侖由厄耳巴島逃回法國而暫時去職，滑鐵盧之役後又回巴黎任工程師。二十六歲時，開始研究光學，1819 年以研究光的折射得獎，1823 年選入法蘭西科學院院士。夫累涅爾致力研究光的干涉現象，以數學爲基礎，預定光的波動理論，貢獻無人倫比。研究偏振光的干涉，用特別的陂瑞稜鏡（現稱爲夫累涅爾菱體 *Fresnel rhombus*）產生圓偏振光。1827 年獲英國皇家學會冉福得獎章（*Rumford Medal*），1827 年七月十四日逝世。爲了紀念他今人皆以其名爲頻率單位，等於 10^{12} 赫。

【夫累涅爾方程式】(Fresnel equations)

爲關於反射光之程度與入射光之強度、角度之關係的公式，

$$\frac{I}{I_0} = \frac{sin^2(i-r)}{sin^2(i+r)}$$

其中 i 是入射角，r 是反射角，I_0 是入射光的強度，I 是反射光的強度。

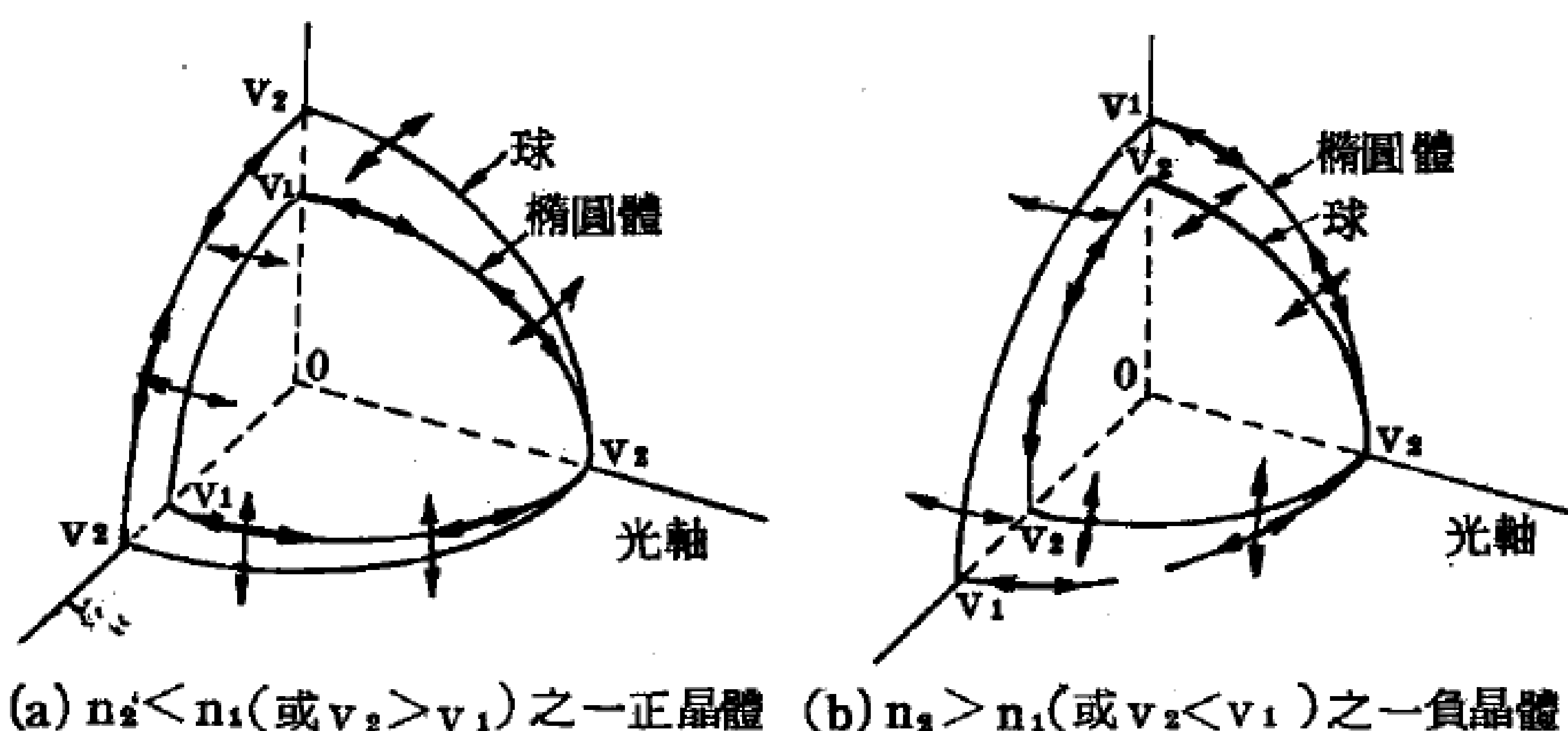
【夫累涅爾金屬反射方程式】(Fresnel equations for metallic reflection)

$$\overline{n} = n(1-ik)$$

其中 k 是吸收指數。

【夫累涅爾速度面】(Fresnel's velocity plane)

在一前進波上對於各傳播方向將其長度等於 v_o 及 v_e（分別爲普通波及特別波之速度）之向量繪出，則得一個雙表面（圖4—159）稱爲夫累涅爾速度面；一個表面是一球，其半徑爲 $v_o = v_2$，此相當於普通波之速度，另一表面是軸爲 n_1 及 n_2 之一旋轉橢圓體（n_1、n_2 爲折射率），此相當於特別波。這二個表面在其與光軸之交點處相切，幾個傳播方向之偏振狀態如圖4—159所示。



(a) $n_2 < n_1$（或 $v_2 > v_1$）之一正晶體　(b) $n_2 > n_1$（或 $v_2 < v_1$）之一負晶體

圖4—159　單軸晶體之夫累涅爾速度面

對三個折射率不等的一般情況而言，可以證出二偏振波之傳播速度有二個方向相等，這些方向（亦稱爲光軸）垂直於那些與夫累涅爾橢圓體之交截面爲圓的平面，有它們存在的物質稱爲雙軸者，且其屬於斜方（*orthorhombic*）晶系、單斜（*monoclinic*）晶系及三斜（*triclinic*）晶系。

【夫累涅爾實驗】（Fresnel experiment）

光波干涉，並不像水波干涉那樣簡單。首先遭遇到的困難，是因爲干涉性雙曲線（或廻轉雙曲面）的數目 k，必須與下式

$$k < \frac{2e}{\lambda} + \frac{1}{2}$$

相符合，而光之波長 λ 極短，遂使我們不得不將互相干涉之二光源間的

距離 $2e$ 選擇得非常小（此即困難之所在），俾使 k 值不致於失之過大，意即須使干涉性曲線或曲面不致過於密接而令人難以分辨。

此外還有另一困難必須予以克服，始能獲致光學上干涉實驗之成功。上述二光源不僅須排列得相隔如此之近，且須不斷分別發射波長相等與振幅相等之光方可。否則干涉圖形會不斷地快速變動，而無法觀察。就一般分開的二光源而論（例如二發光的白金絲），這一要求也是很難辦到的，因其所發射的光線，波長與振幅總是各有不同的。倘若二光源所發射者不是單色光而是白光（意即含有各種波長的混合光）的話，則上述條件更難予以滿足。倘有任何二光源，能夠滿足上述必須具有相當波長與相等振幅。這一要求（若為白光，其色之組成亦必須相同）稱之為同調的（*coherent*）。

由於夫果涅爾首創之干涉實驗，遂使所有困難全被克服。其法為利用於 K 邊相接之二平面鏡 A 與 B，其相互間形成之斜度甚為微小，約自 0.1 至 0.3 度。使發自光源 L（我們可將此光源想像為一照亮之狹縫）之光，投射於此二平面鏡上，再由該二鏡反射出來，如圖 4—160所示。由於平面鏡 A 的反射所形成之反射光，就如同來自光源 L_1 似的（L_1 與 L 之間具有以平面鏡 A 為基準的對稱關係）。由於平面鏡 B 的反射所形成的反射光，又如同來自光源 L_2 似的。（L_2 與 L 之間則具有以平面鏡 B 為基準的對稱關係。）由於二平面鏡形成之斜度甚為微小，所以才能形成具有下列兩種特性之虛光源 L_1 與 L_2：(1)該二光源彼此甚為靠近，也就是說，二者相距只有幾個光波波長之遙；(2)該二光源可以算得上真正是同調的，事實上

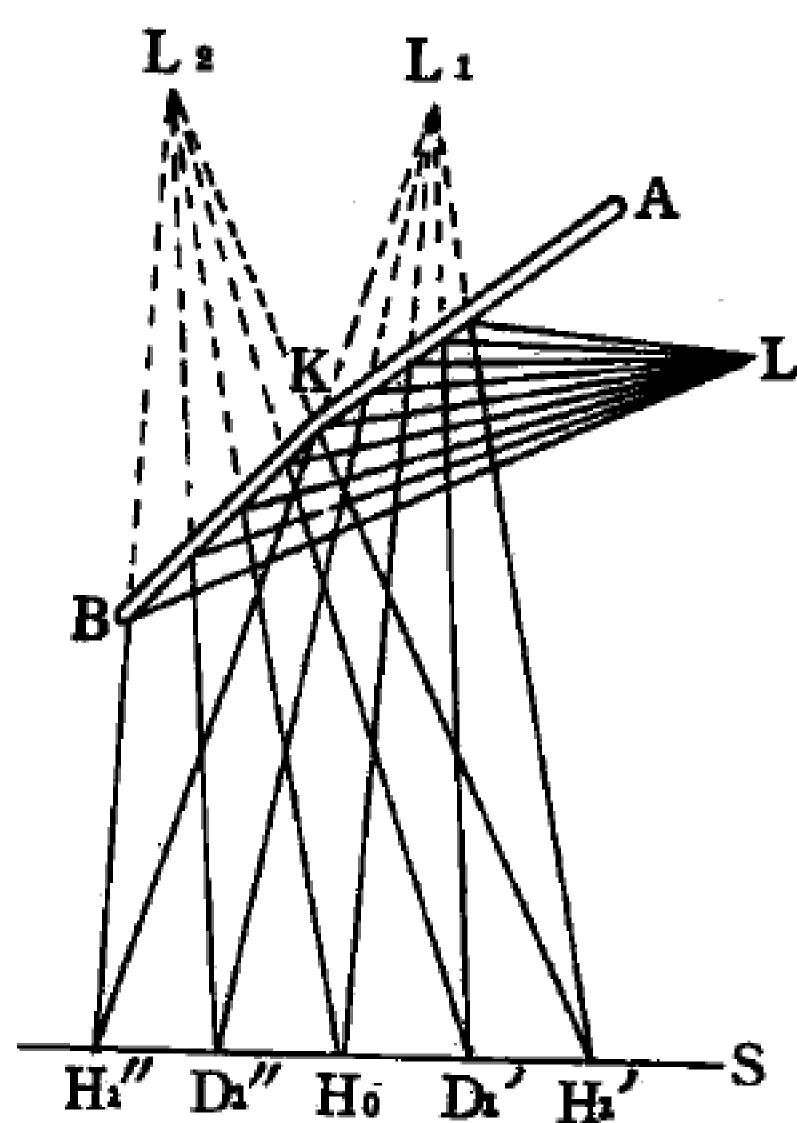


圖 4—160　夫累涅爾實驗

它們只不過是一個眞實的單一光源L的二鏡像而已。

現在我們應可預期，在二虛光源L_1與L_2之光線彼此相遇之處，會有類似二相同圓形水波波系所造成的干涉現象發生。質言之，倘若二光線相遇之處，其光程差剛好等於半個波長的奇數倍時，則該處就會發生互相抵銷的現象；倘若二光線相遇之處，其光程差剛好等於半個波長的偶數倍，則該處就會發生互相加強的現象。

這種明暗相間的條紋，距離中央亮帶H_0愈遠，則其強度愈小，而其相互間的空隙也愈來愈大，如圖4—161所示。此一實驗結果，就是光爲波動性之典型證明。

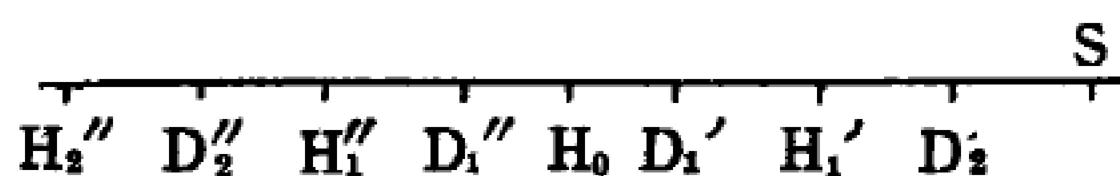


圖4—161
在以單色光照射狹縫作爲光源之情況下，所形成之夫累涅爾干涉條紋

每一黑暗與明亮條紋之間的距離，亦隨所使用之光源顏色而互異。使用紅光時，距離最大，使用紫光時距離最小(圖4—162)由此一事實，可以得證：λ與d成正比。圖4—163可使我們對於夫累涅爾干涉條紋的眞相，得到一個概念，即可藉此實驗來測定光波波長λ。爲此，我們顯而易見必須使用單色光(如黃色鈉光)。圖4—164所示爲夫累涅爾實驗中干涉現象之簡圖，圖中僅繪有彼此相隔$2e$之二虛光源L_1與L_2；此外尙繪有與光源相距爲a之中央亮帶H_0(位於屏S上)，以及與H_0相距

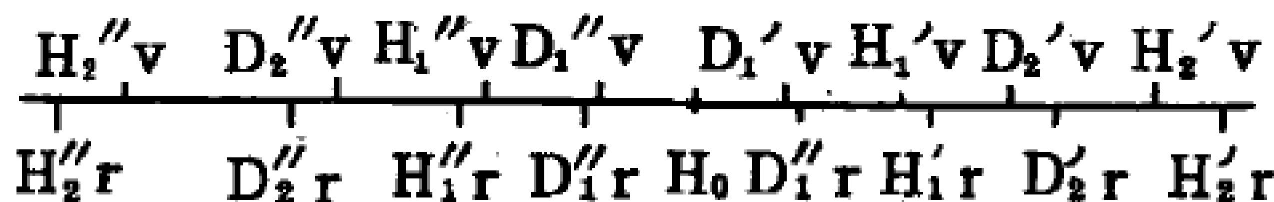


圖4—162
使用紅光時明暗相間條紋(用字母r標明)的距離，要比使用紫光時(用字母v標明)的距離爲大。

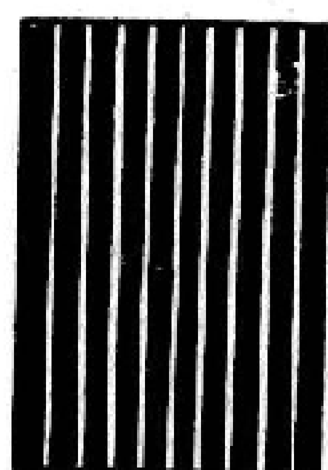


圖4—163
夫累涅爾實驗中明暗相間之干涉條紋

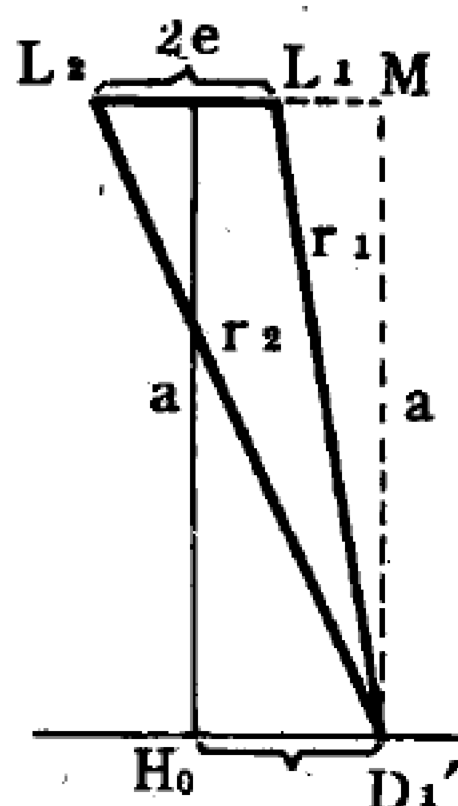


圖4—164
夫累涅爾實驗中序數爲一之黑暗條紋D₁′的發生情況

爲 d 序數爲一之黑暗條紋 D_1'。因此對 D_1' 而言，光程差必定是等於半個波長。倘若我們以 r_1 來代表 L_1D_1'，以 r_2 來代表 L_2D_1'，則

$$r_2 - r_1 = \frac{\lambda}{2}$$

由於通過 M 點之二直角三角形 $L_2D_1'M$ 及 $L_1D_1'M$，卽得：

$$r_2^2 = a^2 + (d+e)^2$$

及
$$r_1^2 = a^2 + (d-e)^2$$

於是
$$r_2^2 - r_1^2 = 4d \times e$$

或
$$(r_2 + r_1)(r_2 - r_1) = 4d \times e$$

復因 $(r_2 + r_1)$ 遠大於 e、d 和 λ，故事實上可用 $2a$ 來代替，則

$$2a \times (r_2 - r_1) = 4d \times e$$

$$r_2 - r_1 = \frac{4d \times e}{2a}$$

或

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{4d \times e}{2a}$$

因此

$$\lambda = \frac{4d \times e}{a}$$

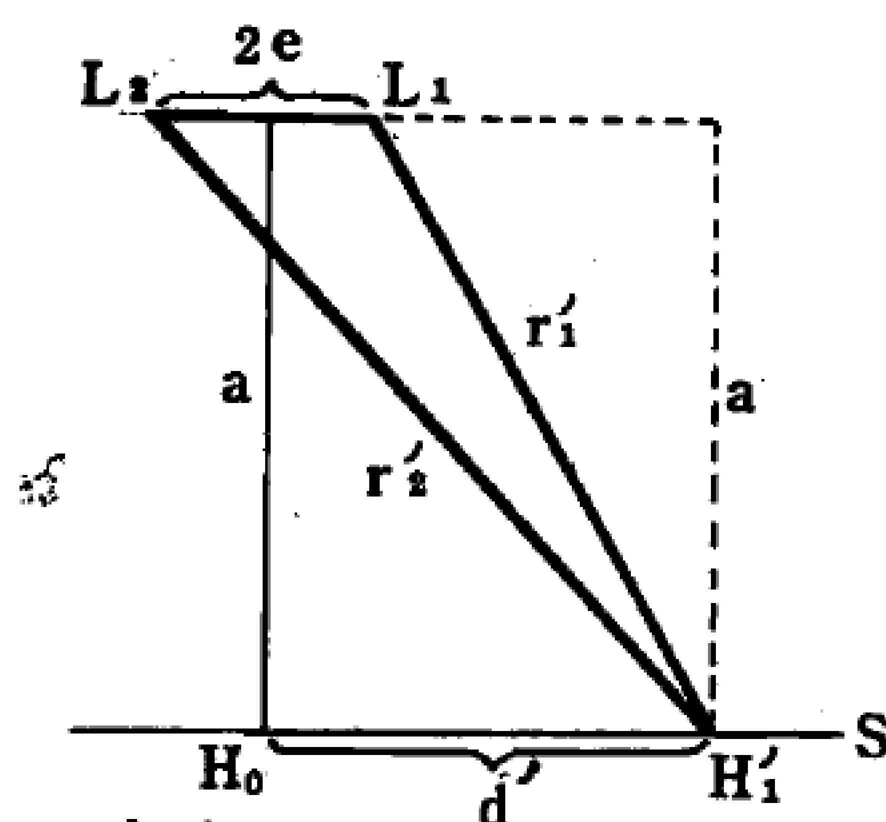


圖 4 — 165
夫累涅爾實驗中序數爲一之明亮條紋的 H_1' 的發生情況

對序數爲一之明亮條紋 H_1' 而言，由虛光源 L_1 和 L_2 所發射之光線其光程差必定是等於整個波長 λ。倘若我們用 r_1' 來代表距離 L_1H_1'，用 r_2' 來代表距離 L_2H_1'，則根據圖 4 — 165 所示：

$$r_2' - r_1' = \lambda$$

玆設 d' 爲明亮條紋 H_1' 與中央亮帶 H_0 之距離，依前例則得：

$$r_2'^2 = a^2 + (d' + e)^2$$

$$r_1'^2 = a^2 + (d' - e)^2$$

$$r_2'^2 - r_1'^2 = 4d' \times e$$

倘若我們再用 $2a$ 來代替（$r_2' + r_1'$），則

$$2a(r_2' - r_1') = 4d' \times e$$

$$r_2' - r_1' = \frac{4d' \times e}{2a}$$

因此
$$\lambda = \frac{2d' \times e}{a}$$

準此，爲了要測定光波波長 λ，必須先要知道屏距 a，及序數爲一之黑暗條紋或明亮條紋與中央亮帶 H_0 間的距離 d 或 d'，這幾個數據都是可以直接量出的。至於二虛光源 L_1 與 L_2 間的距離 $2e$，則可先量出用會聚透鏡所放大的實像，然後根據物距與像距之比，即可求得之。

【夫累涅爾積分】（Fresnel integral）

謂 $\frac{1}{(1+i)} erf(v) = C(v) - S(v)$

其中（v）、$S(v)$ 爲夫累涅爾積分，erf 爲誤差函數。

$$C(v) = \int_0^v \cos\frac{\pi x^2}{2}\,dx$$

$$S(v) = \int_0^v \sin\frac{\pi x^2}{2}\,dx$$

參閱"夫累涅爾繞射（*Fresnel diffraction*）"條。

【夫累涅爾橢圓體】（Fresnel ellipsoid）

當一橫波通過一異向性（*anisotropic*）介質時，波傳播的速度可能視偏振之方向及波傳播之方向二者而定，電磁波尤爲如此，大部分分子在各方向之極化性（*polarizability*）不同，因爲氣體及液體之分子是無定向的，所以隨方向改變之偏振並不產生任何特殊效應，則介質的有效巨觀行動正如一等向性物質。但在一結晶固體中，其分子多少是有定向的，故其方位是固定的；此即，其在晶格中繞其平衡位置轉

動是不自由的，故一般而言，晶體之性質視測量所沿之方向而定，結晶體的擧止看起來可像等向性（ *isotropic* ）介質或異向性介質，視其分子的結構及排列而定。

介質在各方向極化性不同之事實卽謂，一般而言，極化強度 $\vec{P}$ 並不與電場 $\vec{\varepsilon}$ 同方向，然而，至少有一組三個彼此垂直的方向，而沿此方向的 $\vec{\varepsilon}$ 與 $\vec{P}$ 是平行的，這些方向稱爲主軸，係每種物質之特徵；定一坐標軸 XYZ 使與這些主軸平行，則各個主軸對應有一不同之電容率，因而有一不同之折射率，此稱主折射率（ *principal refracting power* ），而以 n_1，n_2 及 n_3 表之。

由實驗及理論（基於馬克士威方程式）二者證得，在一異向性介質中，對一平面電磁波之每個傳播方向而言，有彼此垂直的二個可能偏振狀態對應，各以不同之速度傳播。故不論偏振之起始狀態爲何，當一電磁波穿過一異向性物質時，分裂成二波，偏振方向彼此垂直，並以不同之相速度傳播，此情況產生了雙折射現象（ *double refraction phenomena* ）。

若要求一波偏振之相速度及狀態，其傳播方向爲已知。我們可用一幾何方法來求，此法係遠在電磁波理論出現以前法國物理學家夫累涅爾（ *Augustin Fresnel* ）所提出者，作一其軸爲 n_1，n_2 及 n_3 之橢圓體，稱爲夫累涅爾橢圓體（圖 4－166），若已知波之傳播方向，以單位向量 $\vec{u}$ 定之，則繪一通過橢圓體之中心 C 並垂直於 $\vec{u}$ 的

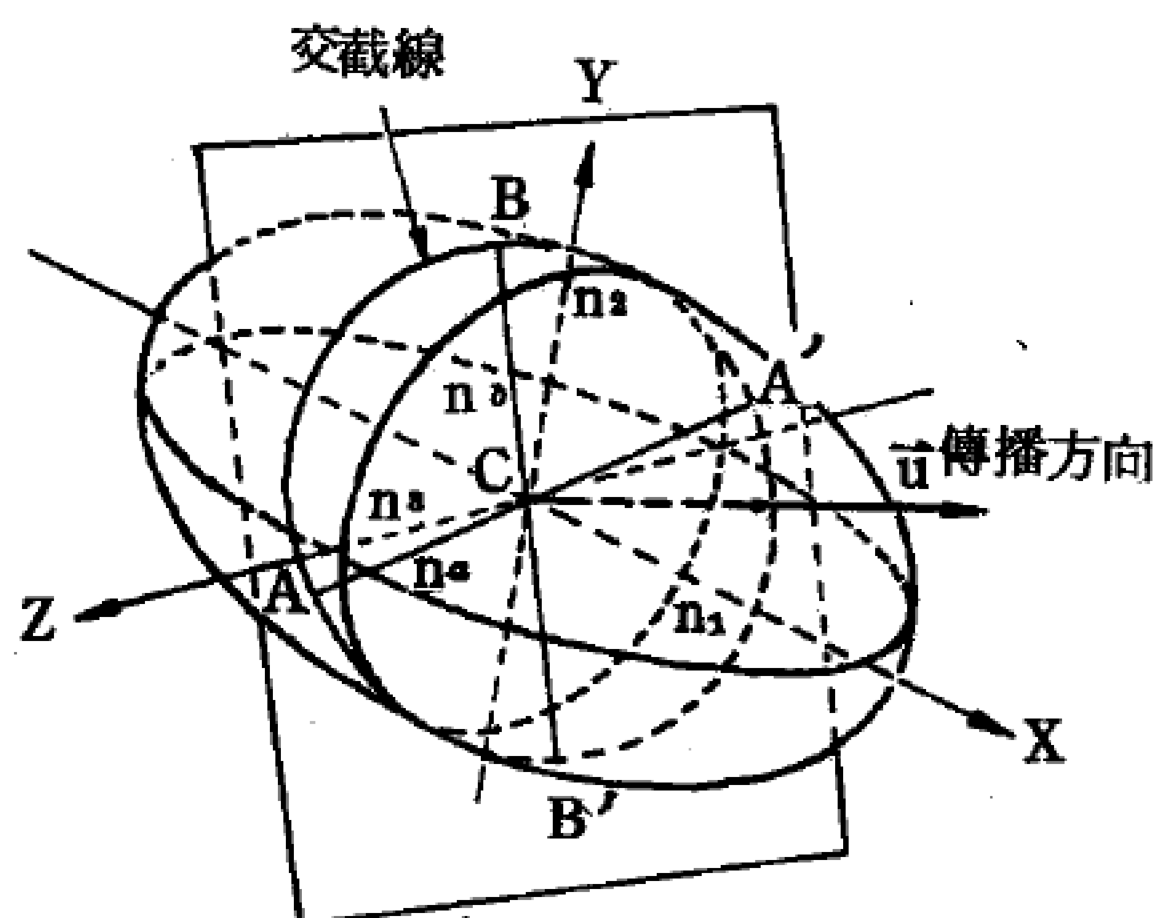


圖 4－166　夫累涅爾橢圓體

橢圓 ABA′B′ 係一通過 C 垂直於 $\vec{u}$ 之平面與橢圓體交截而成，橢圓體之軸的方位平行於物質之主軸。

平面，此面與橢圓體之交截面爲橢圓，此橢圓之二軸AA'及BB'確定該傳播方向之波的偏振平面，橢圓之二軸CA及CB的長度表各偏振的折射率n_a及n_b，因而表出對應之相速度。

等向性介質之特徵爲三個主折射率全相等：$n_1=n_2=n_3$，則夫果涅爾橢圓體爲一球體且各方向之折射率全等，因此沒有特殊偏振方向在，這是因爲所有交截面全是圓的關係，立方晶體(*cubic crystals*)和大部分非晶體介質都是如此。

【夫累涅爾繞射】(Fresnel diffraction)

作繞射實驗時，如果光源與光柵的距離太近，或觀察點是在距光柵有限的距離內，以致不能把入射和觀察到的光，都視爲平行光時；稱爲夫累涅爾繞射。由於所考慮到的光波，不再是平行光，各光波間的行程差，不能再用過分簡化的近似關係表示，這一種繞射的數學分析就變得複雜得多了。不過，干涉的原理還是一樣的。

先以裂縫爲例，說明夫累涅爾繞射的處理方法。爲方便討論計，假設光源至繞射屏的距離遠大於繞射屏至觀察點的距離。在圖4—167中，以光源S到觀察點P_0之連線與繞射屏的交點O，爲裂縫上坐標的原點。根據惠更斯作圖法，裂縫上佈滿著小惠更斯光源。P_0點所觀察到的繞射光，是這些小光源輻射振盪疊加的結果。由於各小光源到P_0點的行程各不相同，使得它們在P點所提供的電場振幅與相位都不相同。其中以相位的差異影響最大。在坐標爲x的小光源之輻射，與O點間的相位差δ，可求之如下：

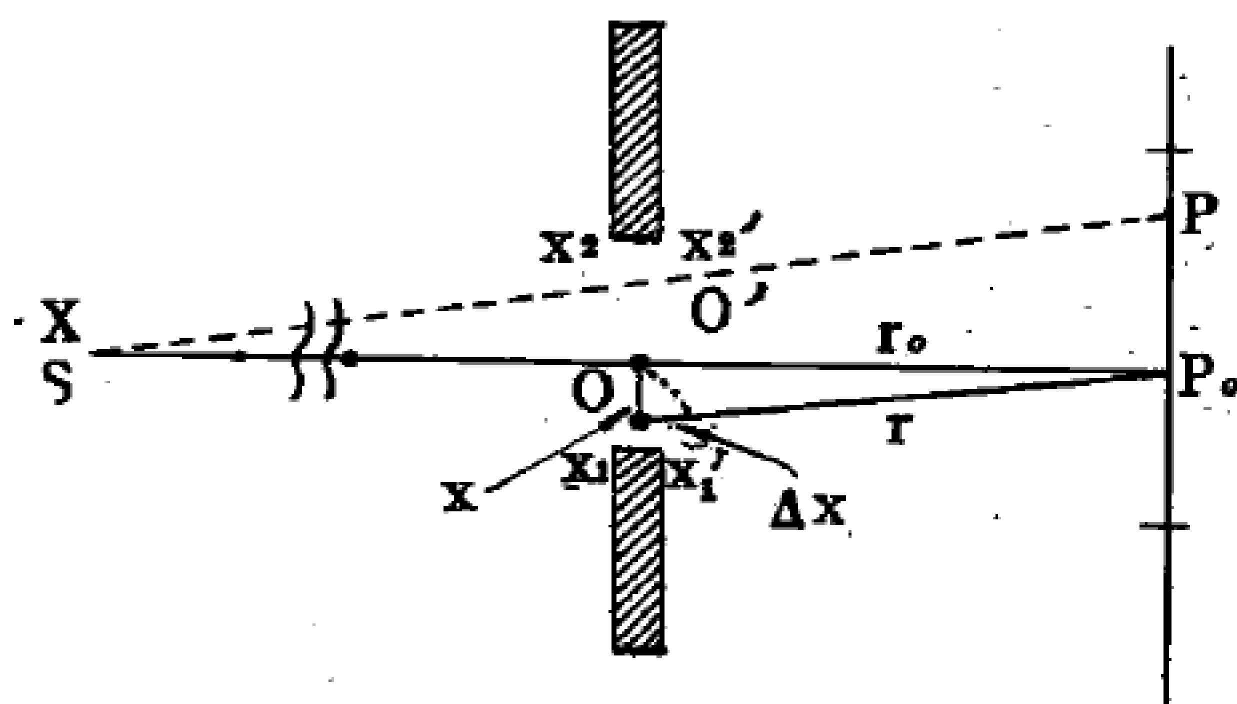


圖4—167　夫累涅爾繞射的幾何圖示

行程差　　　$\Delta = r - r_0$

但是　　　$x^2 = r^2 - r_0^2 = (r_0 + \Delta)^2 - r_0^2$

$= 2r_0\Delta + \Delta^2$

因Δ值很小，故Δ^2可忽略。

所以，相位差爲　$\delta = k\Delta \approx k\dfrac{x^2}{2r_0} = \dfrac{\pi}{\lambda r_0}x^2$　　(1)

這個結果，正是造成夫累涅爾繞射不同於夫牢因和斐繞射的最主要原因。在後者的情況，各小光源間的相位差，是和它們間的距離成比例的，用向量圖解法演算時，複數平面上，每一個小向量和前一個小向量間的夾角都一樣是$\Delta\phi$。現在，我們還是要把各小光源所提供的小向量，依次加起來。不過，因爲相位差是和x的平方成比例，離O點愈遠的小光源所造成的小電場間的相位差愈大。因此，各小向量依次相加的結果，不再是一個圓弧(或幾個圓再加上一圓弧)。如果繞射屏是整個透光的，如圖4—167中的$x_1\to-\infty$，$x_2\to\infty$；則各小電場相加的結果，是像圖4—168那樣的整條螺線。這就是所謂的柯努螺線(*Cornu's spiral*)。若令

$$v^2 = \frac{2}{\lambda r_0}x^2 \quad (2)$$

則根據(1)式，每一小電場發源與

$$e^{i\pi v^2/2}\,dv$$

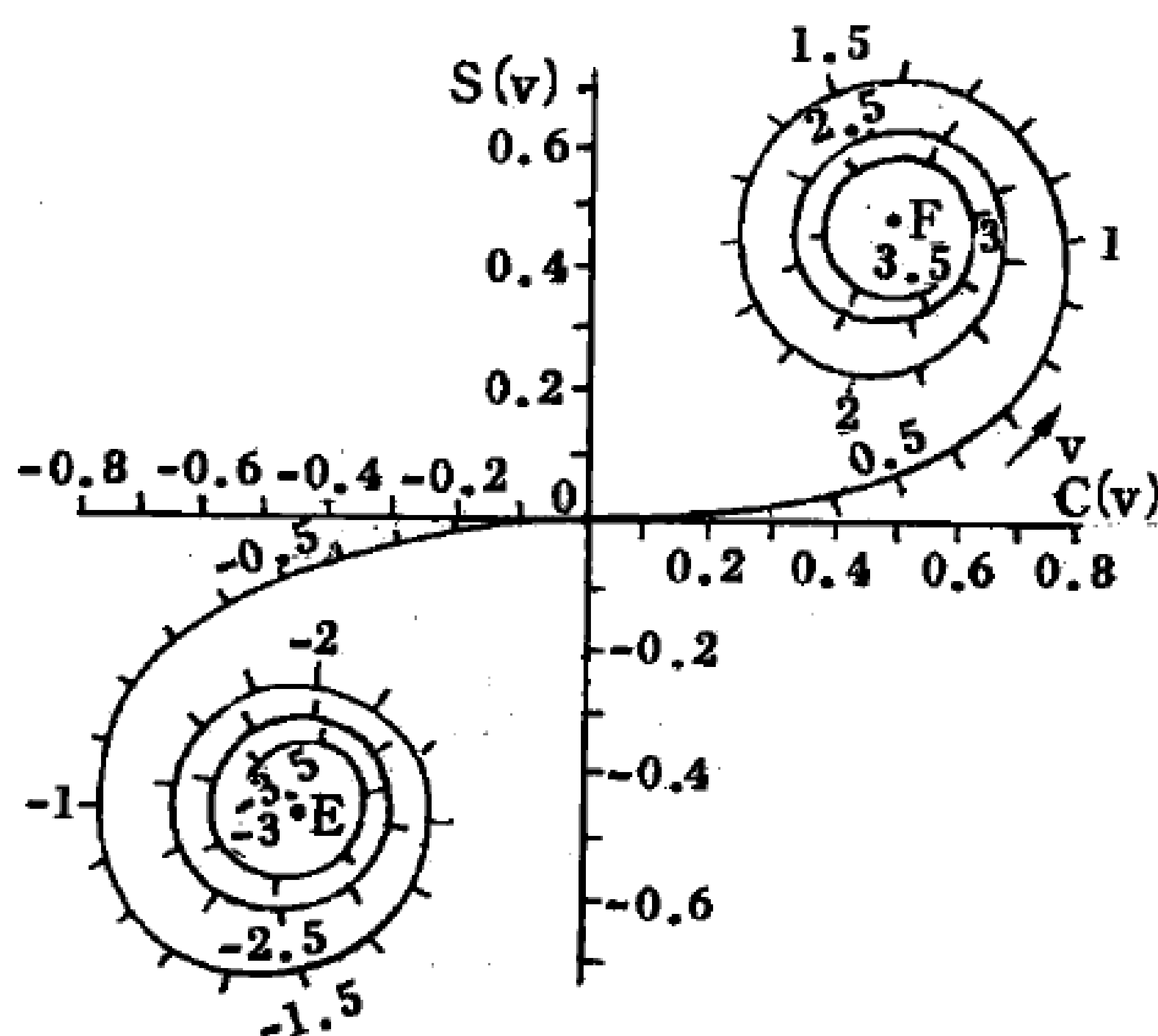


圖 4—168

柯努螺線沿線所標的是參數v的數值

成比例。圖4—168即是以dv爲每一小向量之長度依次疊加的結果。

故沿螺線的弧長，即等於參數 v 的大小。圖中的實數和虛數坐標分別等於下列的夫累涅爾積分（*Fresnel integral*）

$$C(v)=\int_0^v \cos\frac{\pi t^2}{2}dt \qquad S(v)=\int_0^v \sin\frac{\pi t^2}{2}dt$$

當 v 趨於無窮大時，這兩個函數都趨近於 $\frac{1}{2}$。

$$C(\infty)=S(\infty)=\frac{1}{2} \qquad C(-\infty)=S(-\infty)=-\frac{1}{2}$$

這就是圖 4—168中的 F，E 兩點。

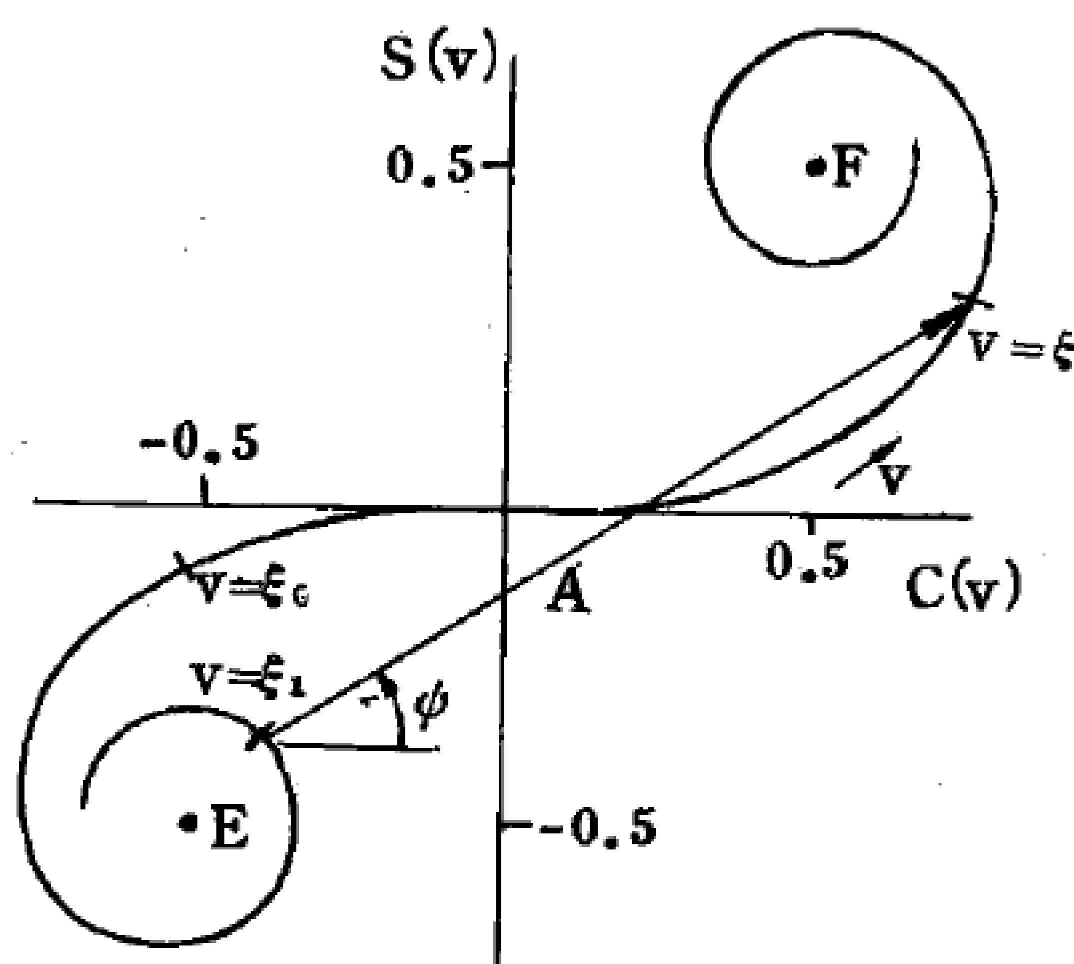


圖 4—169
利用柯努螺線來求各觀測點所獲得的繞射強度 $I \propto A^2$

利用柯努螺線來求各觀測點之繞射強度的方法，是將觀測點 P 與光源連接起來，以其和繞射屏的交點 O' 爲原點，求得裂縫上下兩邊的坐標 x_2', x_1'。然後依（2）式，化成以參數 v 表示的值 v_2', v_1'。將此兩點在柯努螺線上標出後，以一向量 $\vec{A}$ 連接起來，如圖 4—169。則 P 點的繞射強度 $I(P)$ 即等於

$$I(P)=\frac{1}{2}I_0(P)A^2$$

式中的 A，即圖 4—169中之向量的長度；$I_0(P)$ 是整個繞射屏都透光時，P 點的繞射強度（因 $v_2'\to\infty$，$v_1'\to\infty$ 時，$A=2\sqrt{(\frac{1}{2})^2+(\frac{1}{2})^2}=\sqrt{2}$）。對一裂縫而言，$\Delta v=v_2'$

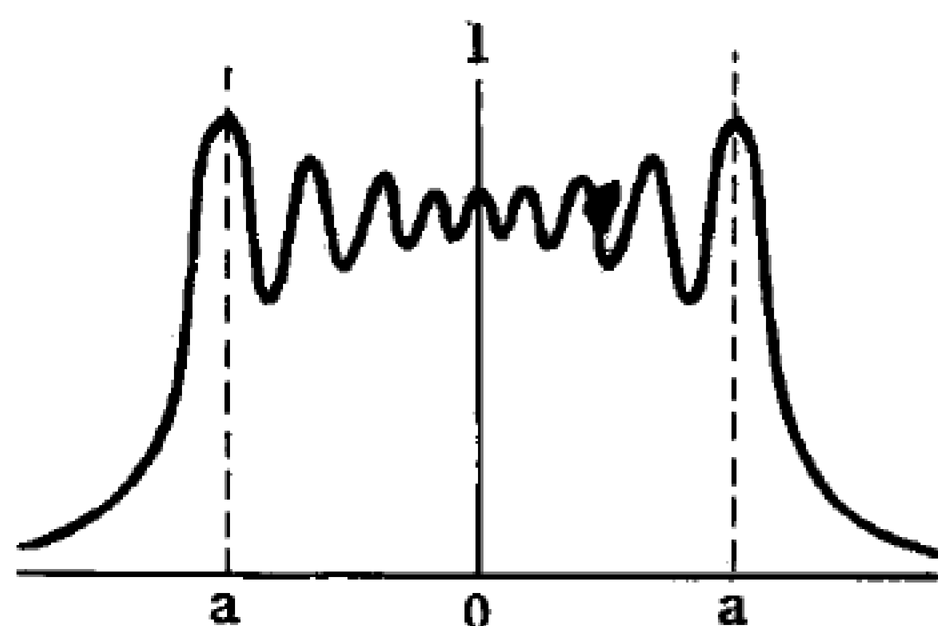


圖 4—170
夫累涅爾繞射的繞射強度分佈

$-v_1'$，是有固定大小的，所以A的大小，實際上是決定於中點v_0'在螺線上的位置（v_0'是以O'為原點時，裂縫中點的坐標）。當A向量的首尾兩端落在螺線外圈時，A值極大；反之，若落在螺線的內圈時，即有相對的極小值。因此，在觀測屏上各點所得到的繞射強度，如圖4—170所示。圖中的a點，代表裂縫在觀測屏上的幾何投影。這個強度分佈的整個圖樣，是要看Δv的大小來決定的。當Δv變得很小時，即裂縫變得很小或r_0變得很大〔見（2）式〕時，繞射條件已經變成夫牢因和斐繞射。圖4—171表示在三個不同的r_0極限下，單一裂縫繞射圖樣的比較情形。

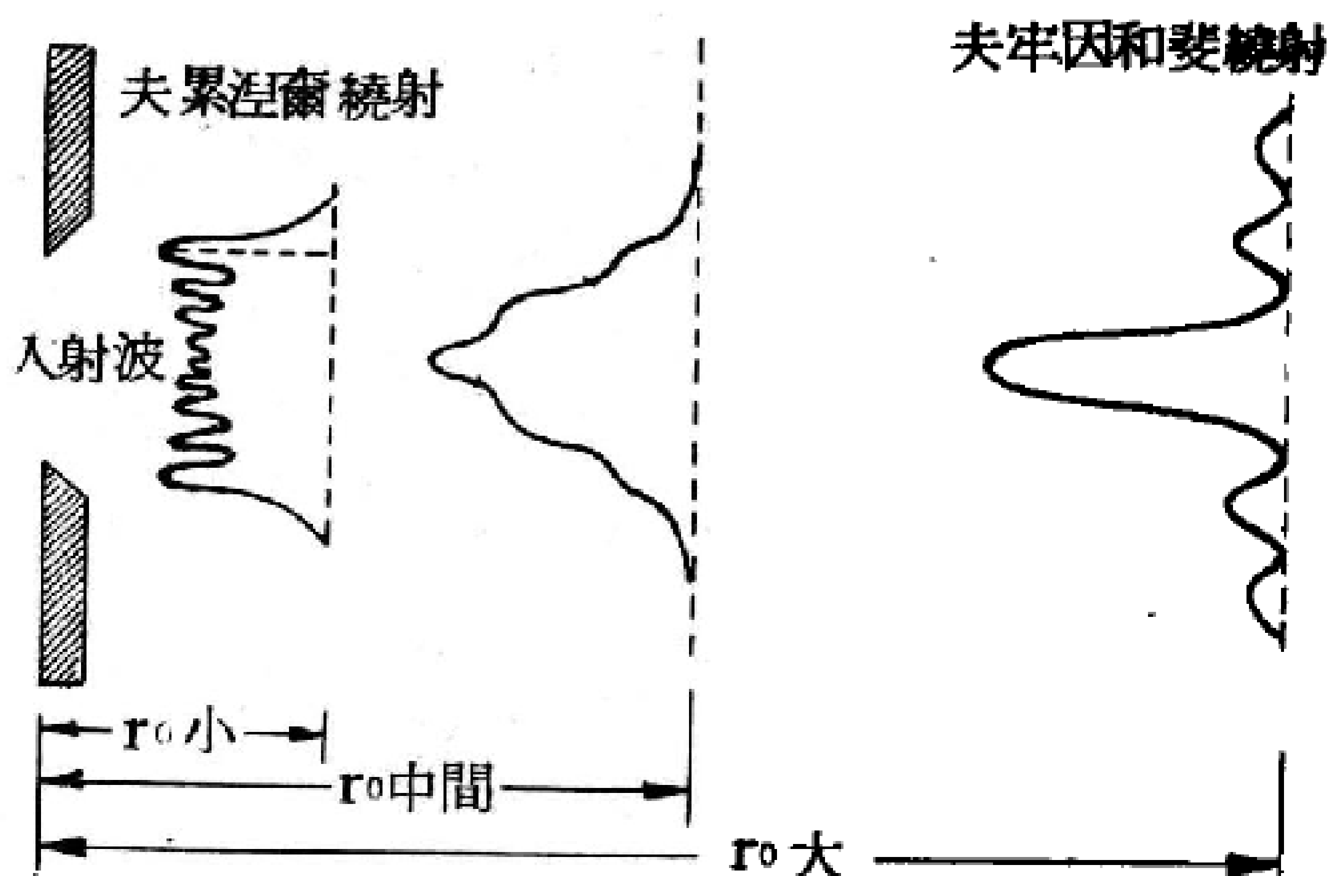
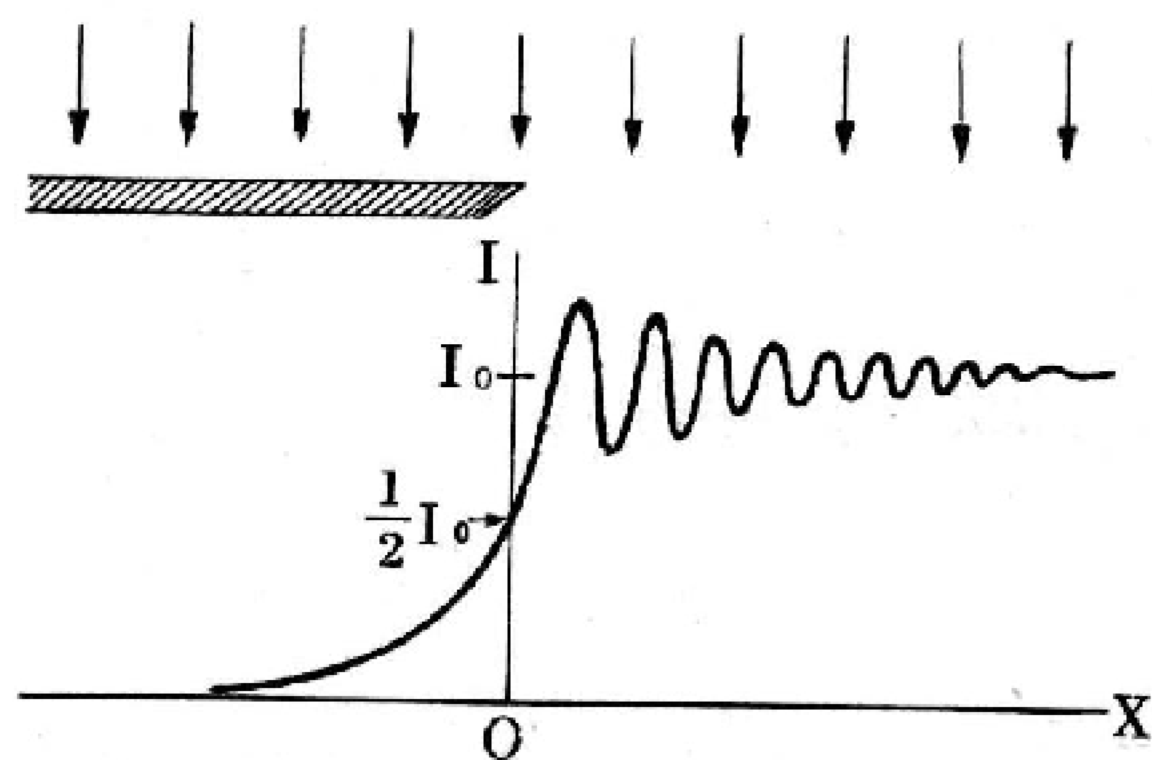


圖4—171
單一裂縫繞射圖樣，隨觀測點與繞射屏之距離的不同而變化的情形。

利用同樣的方法，不難推求出一個直線邊緣的夫累涅爾繞射圖樣。圖4—172(b)繪出這個繞射強度的分佈情形。此圖和圖4—170所示的裂縫繞射有一共同的特徵：相對於繞射屏的邊緣有最大的強度變化。又正對直線邊緣點O的強度只有遠離邊緣極限強度



(a) 直線邊緣夫累涅爾繞射的強度分佈

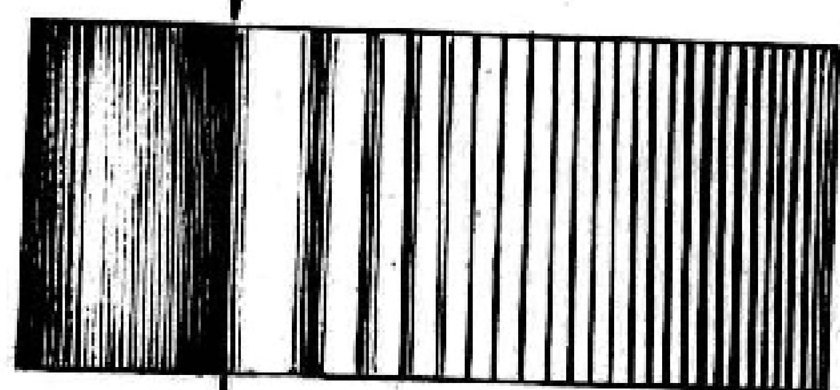

(b) 繞射的圖片

圖4—172

的二分之一。圖 4 — 172(*b*)是這個強度圖樣的圖片。

【夫累涅爾雙稜鏡】(Fresnel's biprism)

為能產生兩道一致性(*coherence*)的光束，科學家曾設計出若干實驗儀器，最習見者為如圖 4 — 173 所示之夫累涅爾雙稜鏡，該鏡由二稜鏡 P_1 及 P_2，連結其底而成。由光源 S 而來之光，折射入各稜鏡後，分為兩一致性之光束，宛如由一致性波源 S_1 與 S_2 所發出者然，S_1 與 S_2 為由各稜鏡所生成之 S 的像。因二光束由同一光源發出，故在這情況下，一致性的確無誤。光束於圖 4 — 173陰影區域產生干涉，對於大相差之區域，一致性被摧毀；蓋因干涉光束，由光源於兩分隔較寬時刻產生所致，

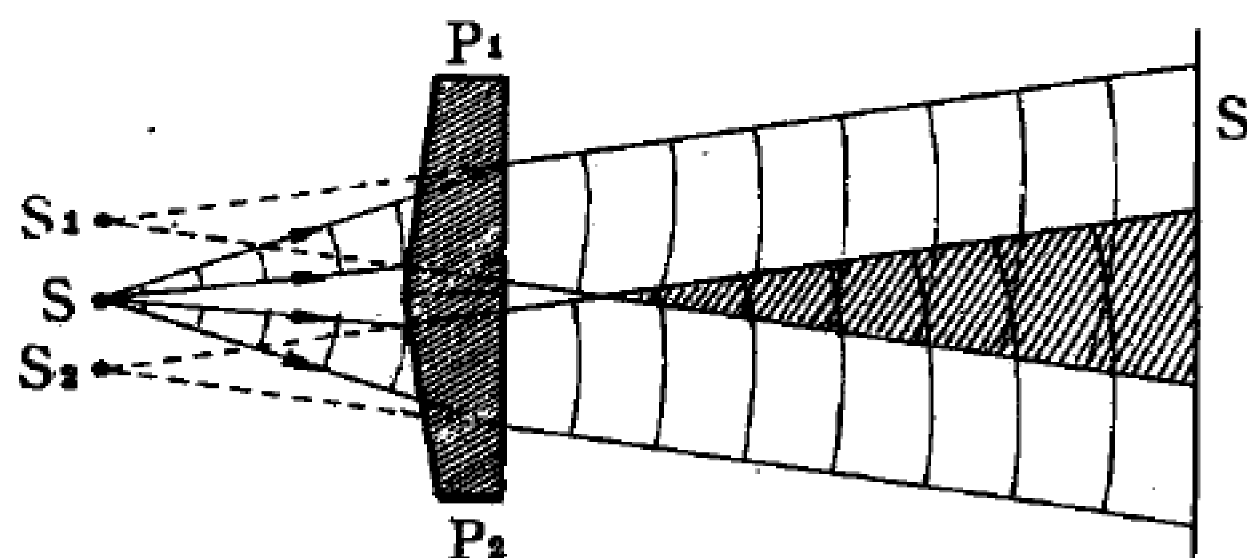


圖 4 — 173　夫累涅爾雙稜鏡

從微觀(*microscopic*)言，波源於兩時刻係不為同一者，所以相(*phase*)不為常數。

【夫瑞德耳定律】(Friedel's law)

晶體的電子或 X 光繞射圖樣，會有對稱中心的產生。

【太空】(Space)

泛指地球大氣以外的宇宙空間，有星球、塵埃、輻射等，但各天體之間相去甚遠，而使太空具有很高度的真空，以行星太空(*planetary space*)而言，每立方厘米中約有 10 個氫離子，地球水平面大氣密度是每立方厘米有 2.5×10^{19} 個分子，可作比較。

太空中輻射線穿透力極強，有能量高達 10^{18} 電子伏特的宇宙射線

(*cosmic ray*)，幸好地球的大氣層阻擋了一部分，人類每年只受50毫雷得(*millirads*)的劑量，否則在沒有空氣存在的自由空間內每年將受10雷得(*rads*)的劑量。輻射源是由星球、太陽內的放射性元素放出的各種質點，這些大都是高至1,000 百萬電子伏特的質子及能量較低的電子(2百萬電子伏特左右)。在太陽焰中及太陽內部的風暴裏面，強度有顯著的增加。由反平方定律，如果離開地球背著太陽(如向著火星)，所受劑量將減少。

地球周圍有范艾倫帶(*Van Allen belt*)環繞著，這區域內的物體溫度稍高，主要含著受地球磁場控制的質子和電子。本區域內的劑量每天高達 1,000 雷得，但只有數百英里厚，太空旅行者最好儘量避免在此逗留。本區域大部分質子是從太陽輻射而來，電子能量高至八百萬電子伏特，也許更高。圖4—174爲地球周圍天空之主要情形之說明。

人類在太空中活動，除應避免上述高量的輻射強度外，太空中更有成千上萬的小游星體，這些小游星進入大氣層後大多數會因摩擦生熱變爲流星而燃燒，在太空中它們可對任何一個太空艙構成危險。

如要成功的實現在太空中的任務，人類必須能在太空中安全及舒適的生活。爲了這兩件要求，人類非要創造一個類似他已經習慣了的地球上的生活環境不可。那不僅包括了他所感覺到的空氣、溫度與濕度等，也還要使他不受極熱、極冷、無地心吸力及放射線的影響，甚至他的食物、飲水、排泄物的處置等都會有關連的。

人類在太空中也會產生一些精神上的問題，因爲人類從小就被訓練習慣於這種日出日沒、白晝夜晚的循環。在這些地球上的工作、吃飯、睡覺的習慣中才能表示正常和最有效率。人類也必須時常的變動姿態及運動以使手臂、大腿、頸部不致麻木失去知覺，同樣的也必須有一種視覺的改換，所以在太空艙中，太空人要能稍有運動及稍能改變艙內的境

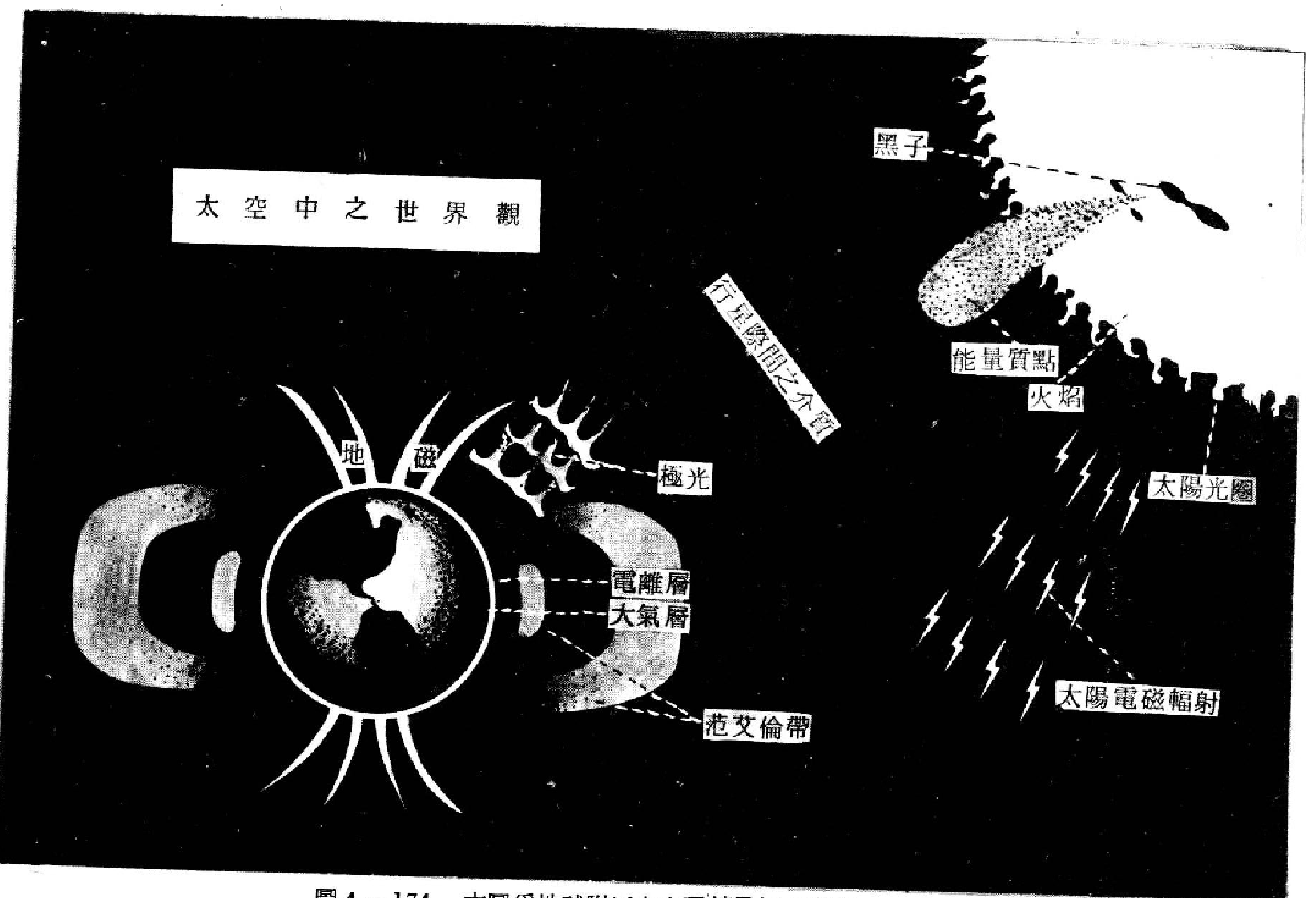


圖4—174　本圖爲地球附近太空環境最好的說明
圖的左上方所示者爲太陽及其有關之各種現象。圖之右下方所示者爲地球及其周圍之各種現象。太陽與地球之間，則爲行星際間之介質。

況（如將燈光變強或減弱），以減低那種單調的情緒。在太空艙中人類也面臨了疲倦的問題，一種由於長期重複而單調的動作和被限制在一個很小的空間中而產生的厭倦，這種疲勞與厭倦使人有不正確的判斷、警覺性減低、急燥及猶豫不決等現象。

【太空用反應器】（Reactor used for space）

欲使從地球出發做星際間的探險具有足夠的獨立性，必須開發原子核燃料，因爲用化學燃料幾乎不可能推進這麼大的負荷量，它必須具備這些功能，包括軌道上的行駛，人員的防護，在其他行星上的機動性，以及探險上的其他必備條件。所以在太空中，正如在陸地上及海中一樣，原子能成爲一項重要的因素。

原子能在太空中的首次應用，是用在一種名爲"核電池組"（*nuclear battery*）的設計中，它是將放射性同位素（*radioisotope*）在蛻變時所產生的熱，直接變爲小量電力（幾瓦特）的一種設計。

發展衛星中所用的"核設計"是美國原子能委員會 *S.N.A.P.*（核補助動力系統，*system of nuclear auxiliary power*）計劃中的一部分，在這個計劃之下，大約有 16 套這種類似的設備被發展用於各種特殊用途，如偏遠地區的氣象臺，海岸指示浮標，以及其他等等。

S.N.A.P. 計劃也發展了一系列極爲精緻的小型核反應器，主要應用於太空中。其功率輸出範圍爲從 500瓦特到幾百瓩之間。*S.N.A.P.*-10*A* 如圖 4—175，功率範圍從 0.5 到 50 瓩，在設計

圖 4—175　S.N.A.P.－10 A系統的剖面圖

概念上有一個優點，即整個產生動力的系統，沒有轉動的部分。其他如 S.N.A.P-8（圖 4—176）、S.N.A.P - 50 等系統，可用於高等電推進（*advanced electric propulsion*）及補助力上的需要。

圖 4—176

SNAP.-8 反應器正準備做一次模仿發射狀況時的振動試驗

【太空地理學】（Geography of space）

由於太空航行之太空情境因日距關係（就太陽系言）差別甚大，故各區域必須予以分類，或釐訂其定義，才易於瞭解與研究，乃有將太空予以地理或地誌式的說明，有如地球表面上各種交通線必須藉地理學做根據來劃分或分類的情形一樣。這種將太空予以地理學式的劃分，稱之爲太空地理學或天誌學（*spatiography*）。

【太空物理學】（Space physics）

即天體物理學。研究太空中物體之運動及各種能量間之關係等。

【太空船引擎】（Engine of spacecraft）

一個核火箭的引擎不啻爲氫的加熱器，引擎建造在反應器核心的周圍，反應器的核心就是能量的泉源。除了把推進劑——氫加熱之外，還

有許多輔助工作要互相配合，才能把整個推動系統建立起來，完成火箭的推進任務。例如如何把推進劑從氫貯藏筒中導引到反應器；推進劑得到的熱量應如何轉變成衝力，這都是重要的工作。因此引擎可分爲五個主要部分：

1. 熱量來源——核反應器。

2. 幫浦（ *pump* ）——把液體氫從貯藏筒中引出，加壓力使氫經過反應器核心。

3. 噴口——把熱量轉變成衝力的主要機構。

4. 架殼——把各部分固定起來。

5. 控制系統——在太空船領航員的指揮下，控制系統使得引擎的每一部分都能按部就班的工作。

除了引擎由架殼和控制系統統一成一個可操作的機器外，引擎的各部分需要在溫度不同下能接合穩固。我們還要有起動器（ *starter* ），這種起動器和汽車動力系統中的起動器很相似。還有就是引擎必須"點燃"（ *ignition* ）達到自身維持引擎所需的能量，產生有效的動力。因此，必須要獲得兩個能量的來源：一個來源用以發動引擎，另一個來源供給幫浦的動力加壓使推進劑流經引擎。

【太空船軌道】（ Orbit of spacecraft ）

就是從火箭發射以後一直到登陸爲止太空船所經由的路徑。登月太空船在太空進行，其運動會受到各星體引力（主要是地球與月球，太陽也有一點）的影響而經常在改變著，因此，需要用電子計算機經過精密的計算才能夠決定其軌道，可能的軌道當然不止一條，而且在一定範圍之內，太空人也有選擇的餘地。當太空人發覺小有偏差時，可用後面的噴氣口作校正，太空船旁也有一些小火箭可用來作輕微的校正。

【太陰曆】（ Lunar calendar ）

曆上所用的月（ *month* ）從前是朔望月就是 29 日 12 時 44 分 2.8

秒，以這個時距爲一月的原則所成之曆叫做太陰曆。換言之，是以月的盈虧爲本而創制的曆。月的盈虧變化，是多數人所易於瞭解的，所以最初的曆書，各地都採取太陰曆。一次的望月更替，約 29.5日，所以用 29 日（小月）和 30 日（大月）互相輪流；當兩年或三年，增設爲一個月的閏年（*leap year*）。太陰曆是我國民間，尤其是農民所常用的。

【太陽】（Sun）

太陽爲天體之一，它對地球有無比的重要，如果沒有太陽，地球上一切生物，均不能存在。太陽是太陽系的中心，因爲地球及其他八大行星，均圍繞著它而運轉，但是，在宇宙之間，太陽不過是以億萬計的星球（*stars*）之一，由此可見宇宙之大了。太陽是離地球最近的一顆星（*star*），所以，從地球上看，太陽既大且亮，如果太陽與地球的距離，有北斗星那樣遠，則將肉眼難見，非望遠鏡不可，因爲北斗星的光亮，超過太陽將近一萬四千倍。

太陽是由灼熱的氣體所組成的星球，太陽所含的化學成分，與地球差不多，太陽中最普通的元素，是氫、氦、鈣、鈉、鎂和鐵，不過所有金屬元素，在灼熱的太陽中，均是氣體。太陽的直徑爲八十六萬五千哩，相當於地球的一百零九倍，月球的四千倍，由圖 4 — 177可看出其與地球之比例。但是太陽在宇宙之中，還只是一顆小星，其他比太陽更大的星，不知凡幾，例如從地球上看到光亮而微紅的獵戶座（*Constellation Orion*）參宿四星（*Betelgeuse*）竟大於太陽一百萬倍，如果把太陽、水星、金星、地球，再加

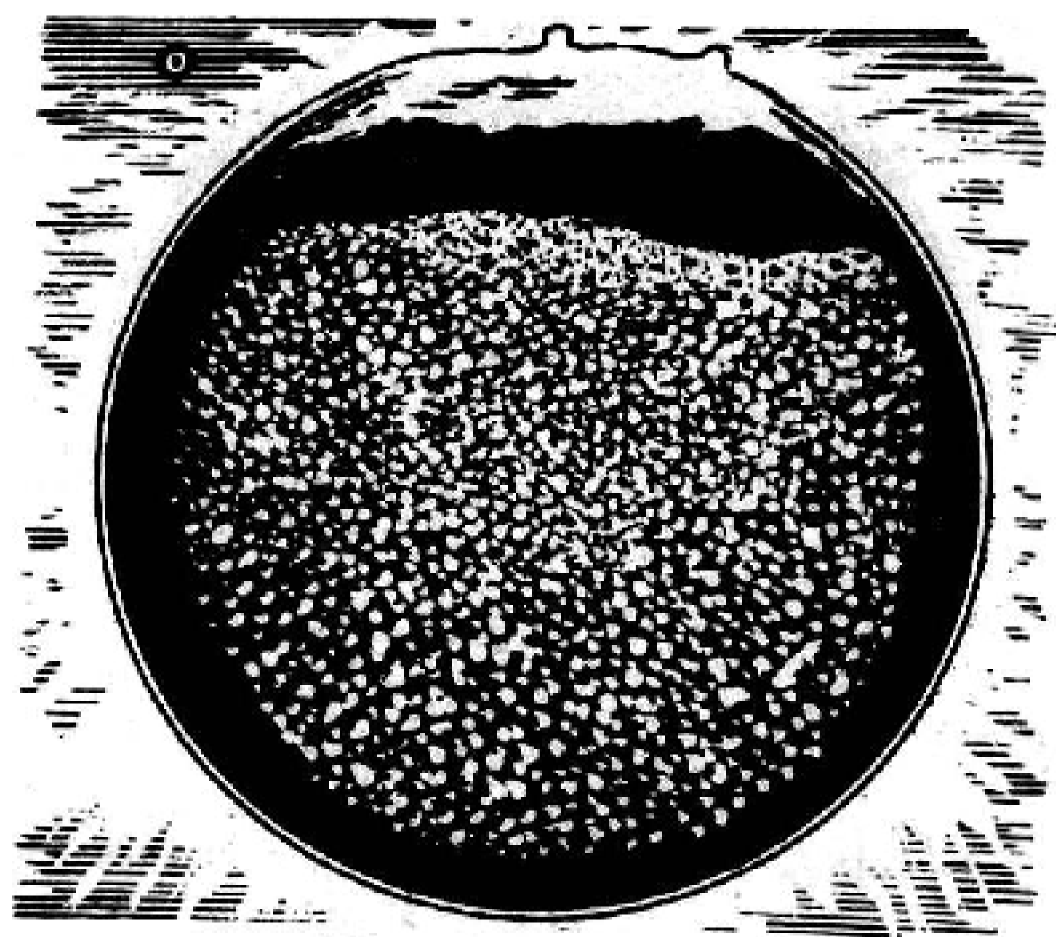


圖 4 — 177
圖左上角小白圈爲地球，玻璃缸爲太陽缸內百萬小球乃地球與太陽之比例。

上火星，放到參宿四星之內運轉，足足有餘，其巨大可想而知。

太陽中的氣體，愈接近中心愈濃而重，愈接近表面愈稀而輕，平均起來，太陽的質量，遠比地球爲輕，地球的平均質量爲水的五倍半，而太陽的平均質量，只有水的一倍半，但是由於太陽比地球大的太多，就全重而言，太陽超過地球卅三萬一千九百五十倍。太陽的表面吸力，大於地球廿八倍，換言之，一個在地球上體重一百五十磅重的常人，在太陽上重達兩噸，那將壓斷自己的腿骨，絕對站不起來。太陽的表面溫度，爲華氏一萬一千度，其中心熱度，約達華氏三千六百萬度，如此奇熱，人類無法接近。

地球圍繞太陽而運轉，是循一條橢圓形的軌道，平均距離爲92,956,000哩，最近時91,402,000哩，最遠時94,512,000哩。以光速每秒鐘約十八萬六千多哩計，太陽光射到地球，需時八分二十秒。太陽也有其自轉和公轉，它的公轉，是與銀河系中大約一千億顆星形成圍繞旋轉的星雲，它率領著九大行星，以每秒鐘十二哩，卽每小時四萬三千哩的速度，在太空中飛馳。我們的銀河系太大了，以致於太陽在銀河系星羣中公轉一週，需時兩億年。

不管太陽系以外的星，是否有行星繞其運轉，而那些行星上是否有高等生物如人者，由於距離太遠，火箭飛行需幾萬年才能到達，所以人類永遠不能離開太陽系而移民。因各星的距離非常遙遠，太陽是居於從銀河系中心到邊緣五分之三的位置，距離太陽最近的一顆星爲毗鄰星人馬座（*Proxima Centuari*）兩者相去25,063,000,000,000哩。從那顆星發出的光，要四年零三個月，才會到達地球。如果該星不動，以太陽運行的速度，直線向其飛行，也需六萬五千年才能到達。

至於太陽的自轉，不像地球每廿四小時自轉一週，而是廿五天自轉一週，同時由於太陽是流動的氣體，各部分旋轉速度不一，大概赤道附近旋轉最慢。

如果宇宙間自始沒有太陽，大概也不會有地球，大多數科學家們相信，地球和太陽系中其他的行星，最初都是來自太陽。假若現在太陽突然消失，首先，沒有太陽的吸力，地球及其他行星，將各自飛散，好像斷線風箏，一去不返。月亮雖然還會跟著地球，但是月光沒有了，宇宙一片漆黑，唯一的亮光，只有天上的星星。最可怕的是，地球迅速變冷，最後可冷至攝氏零下二百幾十度，不但一切的水和水蒸氣都結成冰，就是空氣也將凝結爲霜，當然，一切生物，均告消滅。

由此看來，太陽的光和熱是地球一切生命的泉源。太陽每天射到地球上光和熱的能量，相當於550,000,000,000噸的煤所燒燃的能量。事實上，太陽射到地球的能量，除了一小部分被利用者外，大部分都浪費了。依照科學家計算，每一平方碼的太陽光，平均有1.5匹馬力的能。所以，通常一個工業高度發達的國家，只要能全部收集太陽照射該國十幾分鐘的能，便足供其全國使用一年，但是太陽本身的能量太多了，地球所受到的能，只是其中廿億分之一，其餘都浪費於太空之中。

地球收到了太陽的廿億分之一的能，又只利用其中一小部分（其餘又反射到太空），便能創造了地球的奇蹟。地球上的一切食物，都來自水和二氧化碳，當太陽照射時，植物藉“光合作用”，將水和二氧化碳，變爲醣類。動物吃植物，又變爲動物身體上的組織。人吃動物和植物，賴以生存。所以，歸根究底，一切食物，都是儲存的太陽能，換言之，人吃的是儲存的太陽能。

現在地球上所普遍應用的動力資源，如煤、石油、煤氣等等，這些資源，都是幾百萬年前，動植物所吸收的太陽能，把它儲存起來，埋在地下，供我們發掘應用的。即或水力發電，發電之水，多來自雨水，如果沒有太陽，雨水從何而來，而且沒有太陽的熱力，保持水溫，有水也不會流，仍然非太陽能不可。除了看得見的陽光和感覺得到的溫暖之外，還有看不見，感覺不到的功效。例如太陽的紫外線，對人生便非常重

要，植物吸收紫外線，製造維他命D，人的皮膚接觸紫外線，也可產生維他命D，沒有維他命D，人類無法生存。同時紫外線照射在大氣層上空，產生游離層，形同天幕，它具有將無線電波折射到地球上的功用，因而使遠距離通訊變為可能。

現在科學家們知道，太陽是一大原子爐，它的能量是來自原子的融合，當然這種原子反應，非常複雜，主要的是由氫原子變為氦原子，氫原子是元素中簡單的原子，其次便是氦原子，太陽的光和熱，便是由氫變氦的融合過程，當四個氫原子變為一個氦原子時，幾乎有百分之一氫原子的質量，變為光和熱，更正確一點說，當四百磅的氫變為氦時，就有三磅氫變為光能和熱能。估計太陽由物質變為能量的耗損很大，每秒鐘消耗達四百萬噸的物質，但是太陽太大了，即依此項耗損率推算，太陽還可以照耀三百五十億年。

太陽既是核子的融合作用，其震撼乾坤的猛烈，必定等於千萬億顆氫彈的爆炸，其爆炸的火柱，有時高達廿餘萬哩，超過地球到月球的距離。從地球上觀察，太陽的表面，常常出現單獨或成羣的黑色斑點，稱為太陽黑子（*sunspots*），太陽黑子由於太陽表面極大的激盪而起，故又稱為太陽風暴。黑子形狀，通常分為內外兩部，內部深黑色名為本影（*umbra*），外部淡色稱為半影（*penumbra*），最大黑子的本影，直徑可達五萬哩，半影更大，可達十萬哩。黑子存在時間的久暫也不等，大概小黑子出現，為時短暫，數小時便告消失，大黑子存在時間較長，據1840年到1841年的觀察記載，其中有一羣黑子，竟延長到十八個月才

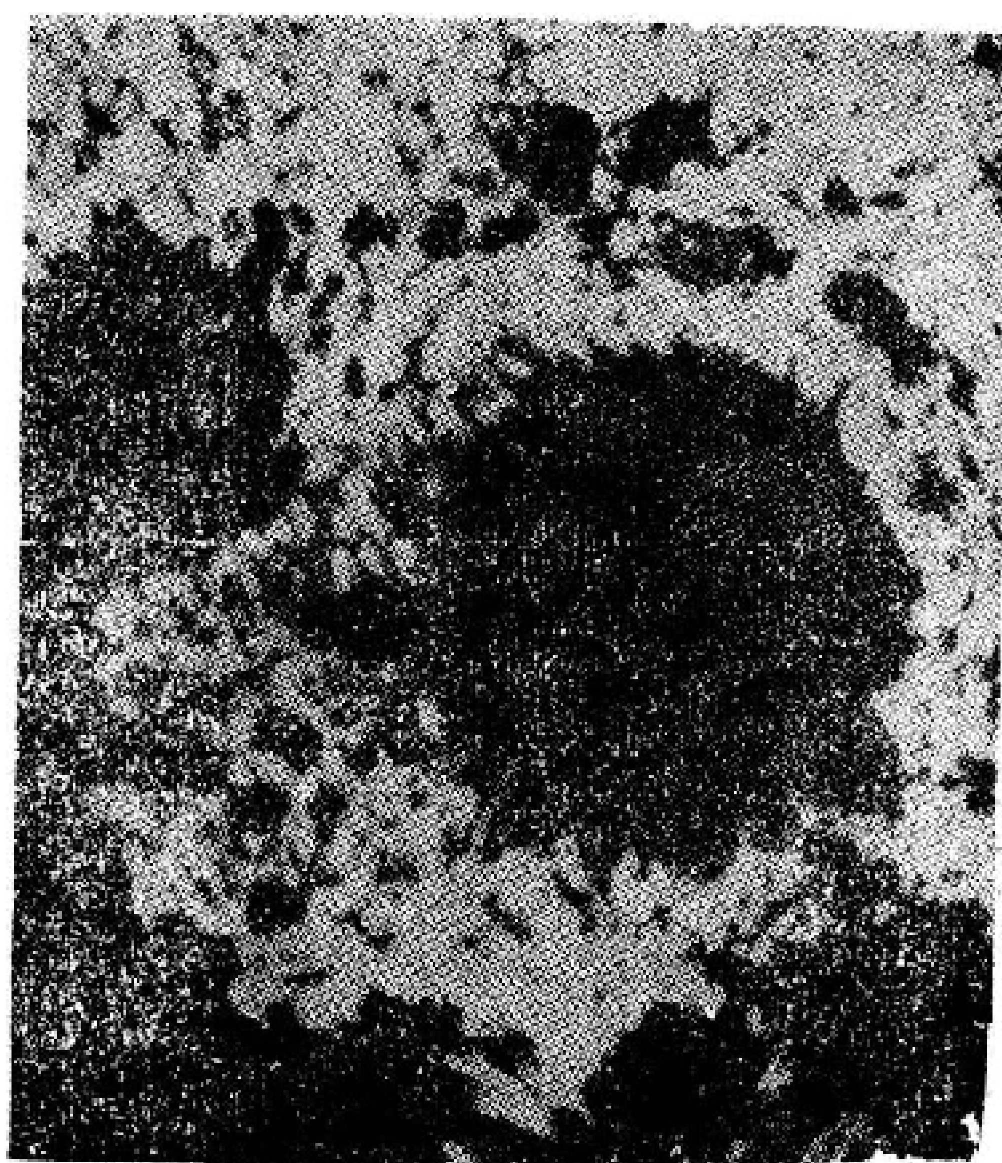


圖 4—178
太陽表面的情形，黑暗處為太陽黑子

消失，科學家們可利用黑子每天由西向東的移動，計算出太陽自轉的速度。當太陽黑子活動強烈時，其所放射的光、熱和質點，也爲之大增，這些電子質點在大氣層上空，可以干擾電波，影響地磁，使極光發生變化。有時造成短暫的遠程無線電中斷，和指南針的搖擺不定。根據科學家長期觀察所得，太陽黑子活動的盛衰，約11.13年一週期， 在前五年中，太陽的活動日漸增強，以後六年卽漸趨衰減。當它增強到最高頂點，太陽光線中爲人們目力所不見的紫外線、紅外線等，也隨之增多，其中紫外線，便是能夠灼傷人們皮膚的一種射線。活動最強烈時，地球上的氣溫可能比往年爲高，地磁和電波均將受到干擾。由於地球氣溫的變化，又可影響到雨量和颱風，因此，颱風也可能增加。

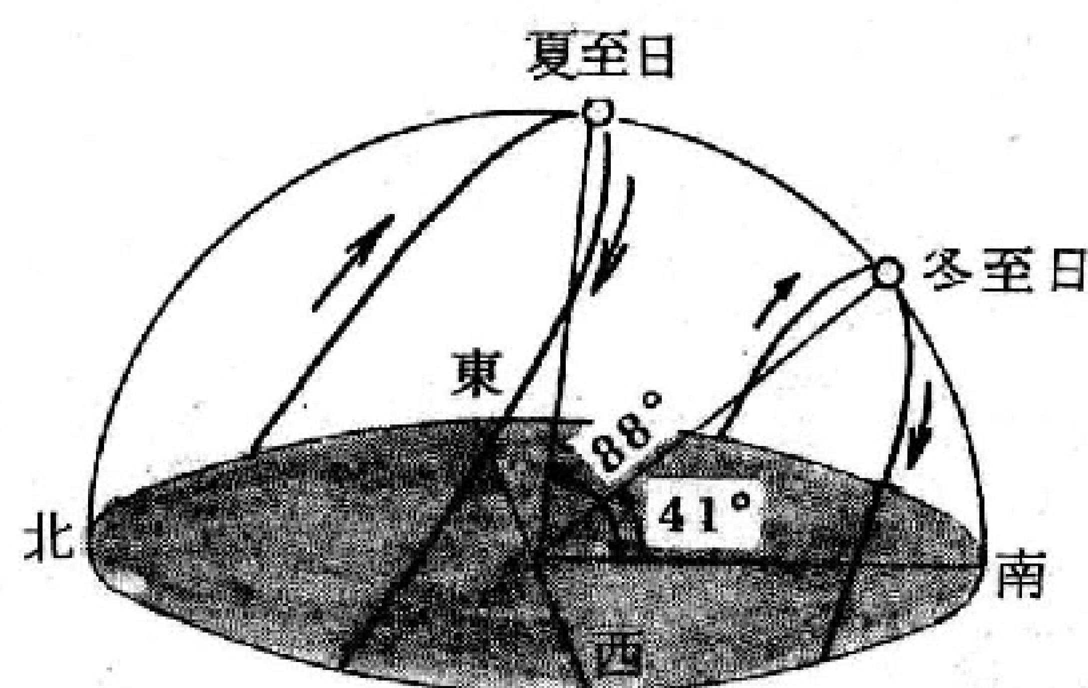


圖 4－179　太陽的高度
（角度數值表示當天正午太陽的高度）

太陽的高度如圖 4 — 179 所示，以太陽光線和地平面所成的角度表之。

【太陽表面結構】

太陽表面圖 4 — 180 爲灼熱發光的氣體，約可分爲四層：最內層爲光球，次爲反變層，再次爲色球，最外層爲日冕，各層間並無明顯分界線。人們日常所見的太陽形狀，卽其光球。光球的溫度，約攝氏六千度，在色球層已降至攝氏二、三千度。密度亦愈外愈小，色球上部密度已比人工所能得的眞空更爲稀薄。

1.光球（ *photosphere* ）——光球爲人們所能看到太陽表面的最內層，太陽內部的一切現象，皆爲這層所遮蔽，無法看到。光球爲一光亮球面，上面發生光點與黑子兩種現象。

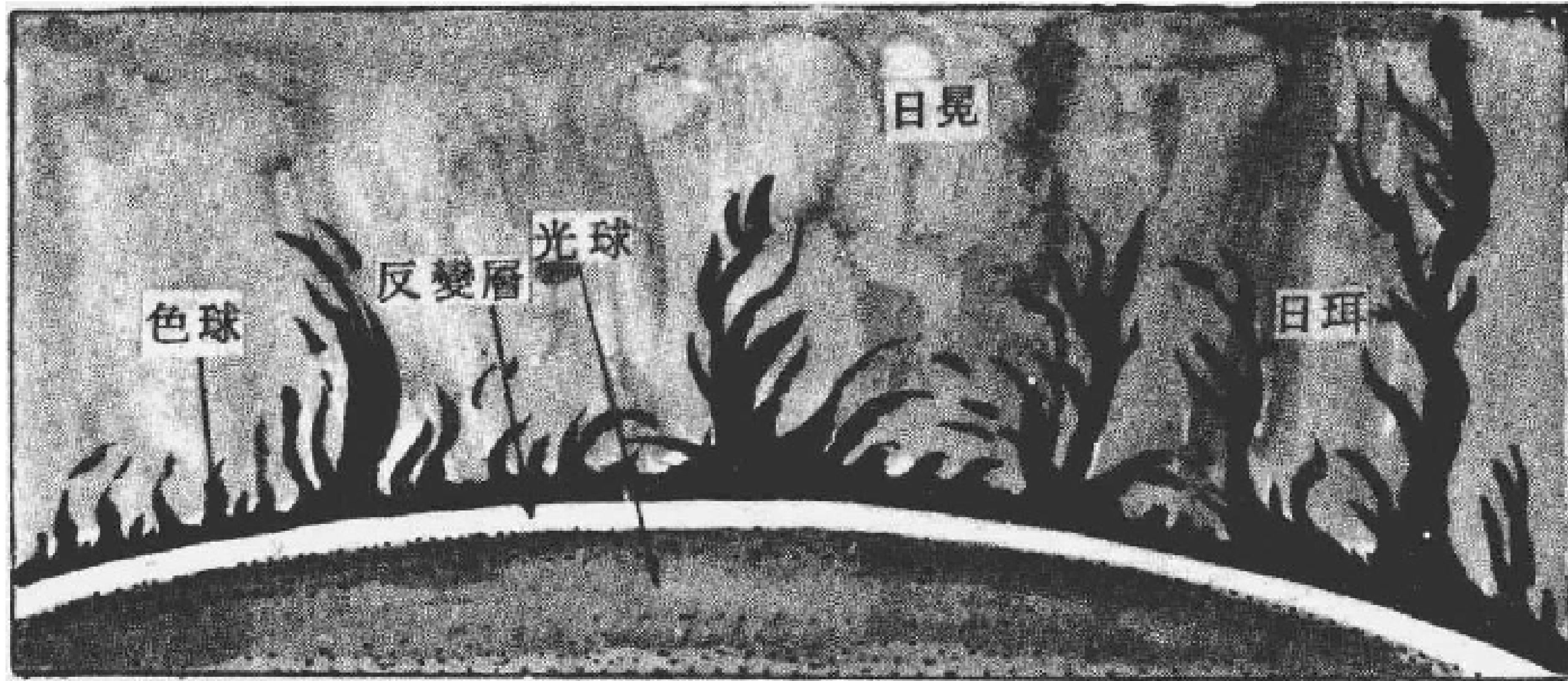


圖4—180　太陽的表面

2.反變層（*reversing layer*）——光球外包以厚度極薄的反變層，其厚度約數百公里，溫度較光球爲低。光球中所發出的輻射能，經過反變層時，爲反變層中各元素所吸收，所以光球的連續光譜中，現出暗線，稱爲夫牢因和斐（*Fraunhofer*）線，共約一萬四千餘條。研究此等暗線，即知太陽表面含有何種元素，並可知道各種元素成分的多寡。

然在日全蝕前後的瞬間，光球全部被掩，僅留這層的時候，呈輝線光譜，這叫做閃光光譜（*flash spectrum*）。因爲光球光譜的暗線在閃光光譜上變爲輝線，所以這層叫做反變層。

3.色球（*chrmosphere*）——反變層爲色球所包圍，色球厚度約由八千至一萬六千公里不等。此層上部主要爲鈣元素，下部主要爲氫和氦所構成。色球上所見主要現象，有下列三種：

(1)光斑（*faculae*）——色球上有塊狀明亮部分，稱爲光斑。光斑的大小與形狀皆不一，大者長寬可至數十萬公里。在光斑下部的光球上往往有黑子存在；光斑亦時生時滅。

(2)日珥（*prominence*）——色球中的氣體時有升高到色球以外，狀如奇峰，高可達數十萬公里以上，其大小與形狀皆不一；此種現象，稱爲日珥。日珥的種類甚多，大別爲寧靜與爆炸兩種。寧靜日珥的形狀

改變極慢；爆炸日珥則有激烈的運動，其速度可達每秒六、七百公里以上。

光斑與日珥的生命皆長短不一，其數目每年亦不同，由最多減到最少，作週期的變化，約如黑子變化的情形。

(3)爆發（ *eruption* ）—— 光球下太陽內部的熱氣，突然衝出到外面，速度甚大，可達每秒一、二千公里，升高到光球外一、二十萬公里的上空，經數分鐘即告消滅。此種現象稱爲太陽爆發（ *solar eruption* ）。爆發時常發生，有大有小，相當於地球上的火山。爆發中含有多量的短波輻射線及他種射線。巨大的太陽爆發對人類的太空開拓是一種災害，因爲這種突發的情況可以使人遭受到致命的輻射線劑量。若爆發發生的位置直對地球時，此等強烈射線射向地面，使地球上空大氣的電離層中離子數目突增，地球磁場遂發生劇烈變化，稱爲磁暴（ *magnetic storm* ）。無線電波亦受突增的離子影響，正常效能受其干涉。射線中的原子，分向地球兩極方向運動。在兩極上空，產生各種奇異光輝，是爲極光（ *aurora* ）。 爆發大都發生在黑子附近，因此一般都認爲磁暴、極光及無線電波受干擾等三種現象，乃由黑子所產生。

4.日冕（ *corora* ）——日冕爲太陽的最外層，其青白色的光，向四方射出，達三、四十萬公里高度以外，亦有高達八、九百萬公里者。其光僅當滿月光之半，愈近日邊，其光愈強。形狀時有改變，其變化週期，亦與黑子有關：當黑子最多時，平均於四周；黑子最少時，赤道部分外伸，兩極處則較短。

【太陽的輻射能】

1.可見光——太陽發射輻射線最強的部分，是在可見光譜區域內。在可見光譜區和紅外線區的太陽電磁輻射線，解釋爲來自太陽光球那些部分的絕對溫度爲 $6,000°K$ 之黑體熱輻射。由於太陽和地球大氣的不同組成元素選擇吸收的結果，吸收光譜（ *absorption spectrum* ）和

光帶出現也最多。

因爲可見光譜和紅外線帶走了 99% 的太陽輻射能，所以說在可見光譜和紅外線區域內，其總輻射強度，差不多就是太陽常數（所謂太陽常數，就是在地球與太陽平均距離下，垂直於入射輻射線之地球大氣層外面所接受之太陽輻射率）。其他短波輻射所帶走的太陽能，只不過是太陽總能量的 1% 而已。距太陽一公尺處光的強度約爲 $1,575 \times 10^{27}$ 燭光，較滿月時的月光約大 615,000 倍。太陽正午時，在地面上的照度約 100,000 米燭，滿月當頭，照度約爲 0.2 米燭，僅及太陽照度之五十萬分之一。

2. 熱輻射——太陽輻射中的熱射線射在物體上，被物體吸收時則變熱。在地球上，因地面上籠罩著很厚的大氣層（*atmosphere*），吸收了射到地表的太陽熱能的三分之一。所以地面上每一平方厘米的面積，正午直對太陽時，每分鐘可從太陽光中吸得 1.94 卡的熱。太陽每分鐘向四方射出的熱量爲 5.52×10^{27} 卡。

3. 在紫外線和 X 射線的區域內，其輻射能只佔太陽總輻射能的千分之二。其通量很低，在 1 埃（$\mathring{A}$）的光帶內，其通量值在每平方厘米的面積上只有 0.001 至 0.0001 微瓦特。與太陽光譜中的其他區域比照時，在一個特別的波長下，此區域也會有很強的輻射能發射；在 1 埃的光帶內，最強的氫輻射線的強度，每平方厘米的面積上有 0.1 微瓦特。

從太陽來的紫外線和 X 射線，雙重的包括連續光譜和能使原子高度游離的線光譜。因爲這種輻射線不穿過大氣層，所以紫外線和 X 射線區域，是不容易知道的，因之，只有不斷的發射火箭和衛星去研究了。

對於輻射線通量值隨時間的變化，迄今仍未瞭解。在太陽活動期，波長在 140 埃以下的光譜區域，有百分之五的變化，在有太陽火焰爆炸時，更有顯著的變化發生。太陽火焰之變化，有增加波長很短的輻射之趨勢，例如 0.2 埃的短波即是。早期的輻射觀察 1 號衛星所得資料中顯

示，在 II^+ 型的太陽火焰爆炸期中， 增加百分之十五的 304 埃輻射線，及增加百分之二十八的 284 埃輻射線。

4. 由紅外線波長的上限值（靠近長波的一邊）起，到波長爲 20 至 30 米之間，爲太陽的無線電波區。比較長的波，經過游離層後，不會穿透來到地面，所以太陽的無線電波之強度，是隨波長的增加而減低及消滅。

無線電波是從太陽內部的光球上發射來的，比較短的無線電波是從太陽的色球(或稱彩層)發射來的，太陽光圈（日冕），或是太陽外的大氣則發射比較長的無線電波。

除了在太陽發生火焰爆炸時，通常太陽的無線電波強度是很低的，這些無線電波，對人類所產生的影響，各不相同。不過，大部分都對通訊系統發生嚴重的干擾噪音。

【太陽日】(**Solar day**)

太陽中心連續兩次經過同一子午圈（*meridian*）所歷的時間，稱爲一太陽日。太陽日分爲二十四小時，每時分爲六十分，每分復分爲六十秒。太陽中心經過下子午圈時，時刻爲零時，爲一太陽日的開始，是爲午夜;太陽中心經過上子午圈時，時刻爲十二時，則爲正午。太陽每日在黃道上約東行一度，所以太陽日的長度比恆星日稍長。太陽中心的時角是用以計量太陽時（*apparent or solar time*）。

【太陽分光圖】(**Spectroheliogram**)

用一種特定波長所拍的太陽全影。

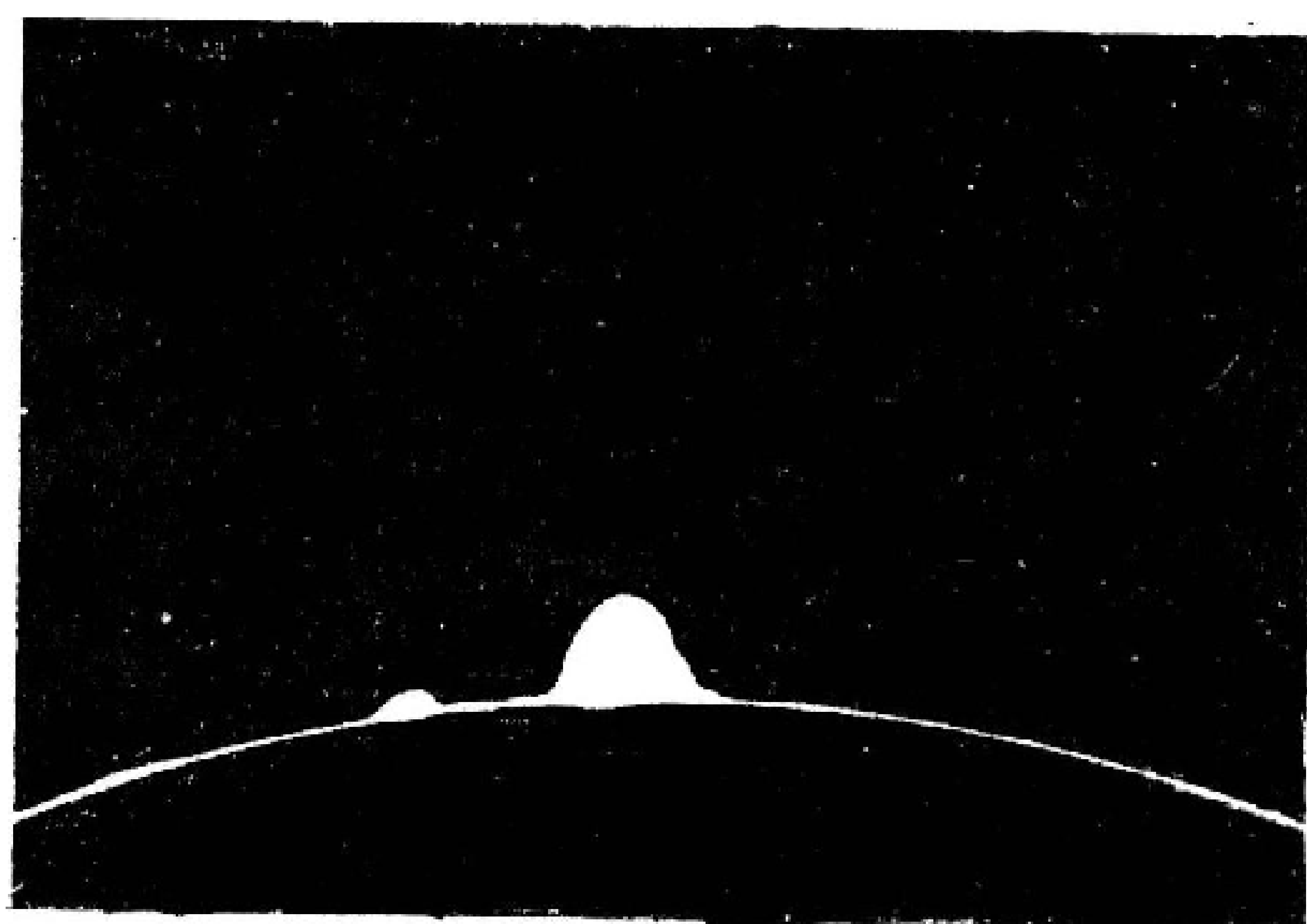
【太陽分光攝影儀】(**Spectroheliograph**)

利用單色光對太陽之單一譜線進行攝影之儀器。所攝成之圖稱之爲太陽分光圖（*spectroheliograms*），如使用氫和鈣光（*calcium light*）等。我們可以從太陽不同高度之大氣中攝成不同分光圖。

【太陽火焰】(**Solar flame**)

如圖4—181，當太陽上發生火焰爆發時，帶電荷的質點雲卽從爆發處噴出來，散播到行星際間，此時在火焰爆發處之磁場亦爲質點雲（卽電漿）拉出，且此被拉出之磁場就凍結在質點雲中，且隨著向前運動。因之膨脹的質點雲就將太陽磁場的磁力線拉出來（如圖4—182）。太陽火焰可以引起磁暴、極光、無線電通訊干擾及宇宙線減少等效應。

被太陽質點雲所曳出之磁力線，其形狀如一磁瓶（如圖4—182）。假如磁瓶（*magnetic bottle*）的壁很堅固，而足夠將瓶外之帶電荷質點趕開的話，則此拉出之磁力線所構成之磁瓶，必定可以承受已經在磁瓶內之帶電荷質點。將高能量帶電荷之質點放進磁瓶內之方法，只有當磁瓶的口在太陽火焰爆發處才行。



(a)

(b)

一般來說，最早發生的太陽火焰質子，是受磁場的誘導作用，而直接來到近地球附近之太空中的。後來發生之質子，經過很長且曲折的旅行

後，由四面八方來到地球附近的太空。

(c)

高能量的太陽火焰所射出的質子，其速度非常的大，可接近光速，而其能量可高達 10 億電子伏特，即是屬於銀河系（*galaxy*）宇宙輻射線的一類。

(d)

圖 4 — 181　太陽火焰

1966 年四月初，美國太空總署發佈一個環繞太陽的巨大圓軌道中行進的美國開路先鋒衛星，業已初次測繪出太空內由太陽風暴而產生的致命輻射流地帶的一條曲折路線。此項成果，對於爲載人的太陽神太空船決定一條前往月球的安全途徑，及對地球上無線電通訊一時中斷現象的預測都是很重要的。開路先鋒六號衛星已探測出此項輻射能是以一道道清晰可辨的波流形態澎湃於太空中，並且一小時接一小時地大幅改變方向。此項方向的改變，是由於撞擊磁場而造成的。太陽火焰爆炸是太陽表面上的一種不常有，但極猛烈的爆炸，其火舌四射至數十萬公里以外的太空，並

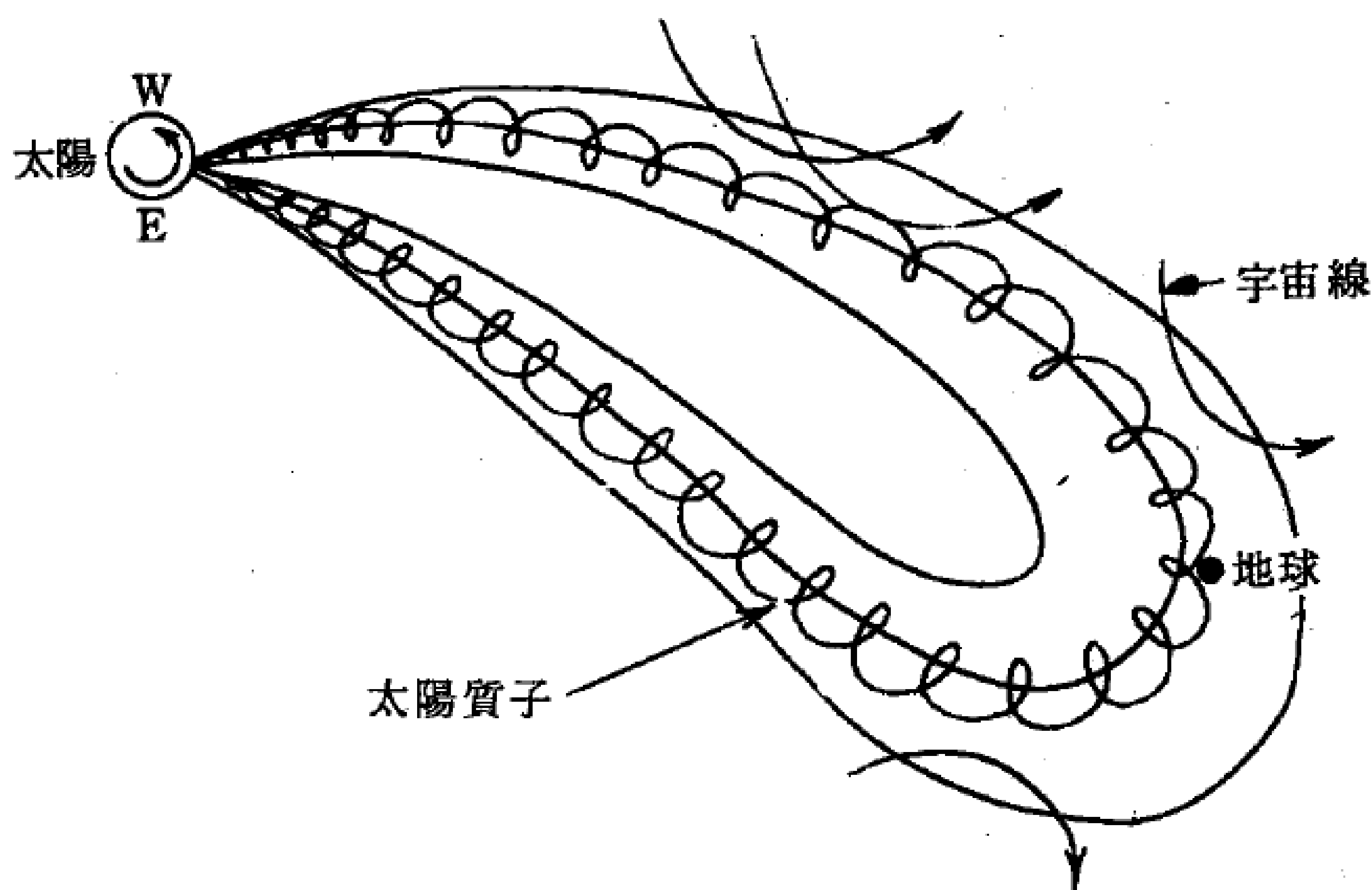


圖4—182　磁瓶

在整個太陽系內發出致命的輻射線（宇宙線）。就像地球上的風暴一樣，太陽風暴也會擾亂太空中正常的“氣候”狀況。

【太陽年】（Solar year）

天文年之一種。依二分點旋轉之年，較恆星年略短。蓋由日月歲差之故。即因二分點沿黃道逆行。太陽年爲365.2422414平均太陽日（或365日5時48分49.7秒）。

【太陽光譜】（Solar spectrum）

又稱太陽光帶或日景。最先對太陽光譜進行研究者爲牛頓。牛頓於1666年即注意此項工作之研究。次爲英國物理學家午拉士吞（*Willian Hyde Wollaston*）於1802年進行研究。他在光譜上看見三條明顯之譜線。1814年夫牢因和斐（*Joseph Von Fraunhofer*，德國物理學家，以研究譜線著稱）計算出太陽光譜中750條黑線並將其中350條繪製出來。

現在，我們已知太陽光譜一如彩虹譜帶，在有色譜帶上橫列數千條譜線。事實上，太陽光譜超過可見顏色以外甚遠，不論爲紅或紫色兩端

均是。在紫色端有紫外線、*X* 射線、γ射線；紅端以外有紅外線、熱射線（ *heat ray* ）及無線電波。

如將太陽光譜與各種人工光源之光譜作一比較，則其不同之點立可看出；事實上，單憑肉眼觀察這些光源之色彩，已足發現其差別所在。光源之色彩與其光譜中所含單色之有無多寡有聯帶關係，故電燈發出較多的紅光，煤氣燈之燈光呈淺綠色，而燭焰則多半是黃光。就色彩來說，弧光燈（ *arc lamp* ）之光譜與太陽光譜最為接近。

【太陽光譜計】（ Spectroheliosope ）

用來描繪觀測太陽光譜的計器。

【太陽宇宙線】（ Solar cosmic ray ）

太陽宇宙線是高能質子，α 粒子及正電重核子。這些粒子在大的太陽噴焰時，加速能在 1～400 百萬電子伏特（ *MeV* ）之間，在1958年二月二十六日一次大噴焰時，有高達 10 十億電子伏特（ *BeV* ）的紀錄。

在看到太陽噴焰後十分鐘，太陽宇宙線可達到地面，高能粒子先到。第一高能粒子速度大，第二則是凡屬 500 *MeV* 的粒子是直線運動自太陽到地球，而低能粒子則是沿磁力線（ *line of magnetic force* ）走較長的路程。

在一次主要噴焰後，太陽宇宙線在五到十天內不會恢復正常的。常有在同一活動區內接著第一次幾天後會有第二次噴發，這種情形下，地面上的密度會很快的形成高峯。這由於第一次噴焰後，電漿會將該區的磁場帶走而使第二次的路程較短。同時形成磁瓶（見"太陽火焰"條之圖 4 — 174 ）將地球包沒，太陽質子沿磁力線螺旋自太陽直達地球，低能粒子被瓶內磁力線捕獲，只能藉擴散作用透過磁力線而達到地球，這是較為困難的。在 10～100 *MeV*的質子密度，當磁瓶掃過地球時，會突然增加而使可以直接自太陽到地球。

太陽質子提高了行星太空中輻射線的能階至危險的情況。在一次大的太陽噴焰時可高達每小時 100 雷得（ *rads* ）（ 皮膚吸收輻射能的單位）足使無防護裝備的太空人受到致命的照射劑量，不過在阿波羅（ *Apollo* ）等太空船上都有足夠的遮護，即使在一次重大的太陽噴焰下，太空人也不會受高過許可劑量的照射。

除了一年可能有一次的重大噴焰外，在太陽活動高潮期，每月可能有一二次較小的噴焰，顯然低能（ 10 *MeV* ）質子可不斷的自太陽活動區射出，就好像每 27 天太陽風（ *solar wind* ）週期性的增加密度，太陽宇宙線也是 27 天週期的密度增加。

太陽宇宙線是太陽物理研究方面最重要的工具，使我們可直接量太陽大氣的成分。得知在噴焰時太陽發出的各種作用，也是研究太空船尚達不到的太陽附近磁場的探針。

假如宇宙線是近赤道來的，磁場會將它折返回太空去；如是近兩極來的，則會沿磁力線螺旋進入大氣層。不過在穿過大氣層時會損失能量，一個 100 *MeV* 的質子會達到 100,000 呎高，400 *MeV* 的可達到 50,000 呎，即使在高空飛行時，在我們上面也會有足夠多的空氣來吸收宇宙線，超音速（ *supersonic* ）客機會在 50,000 呎以上飛行，遇到太陽發生重大噴焰時，在飛過地極區時，最好飛的較低一些。

【太陽系】（ Solar system ）

【 I 】太陽系的起源

關於太陽系的來源有二主要理論，都是在十八世紀中葉提出的。一個理論提示行星是由散漫宇宙中微小的質點集合而成，另一個理論則謂行星都是一單體的碎片。

1. 凝聚說——這是現時最流行的理論，首由德人康德（ *Kant* ）提倡。後法人拉普拉斯（ *Laplace* ）也獨立的提出同樣理論。稱太陽最初爲一自轉盤，其半徑大於由太陽至最外圍行星。當氣體凝縮外邊速度

週期性變成很大，致使拋出物質環，這些環後乃凝集成行星。衛星之生成是由行星的同樣凝聚而來，其後最可靠的是威沙克、庫柏（*Weizsacker-Kuiper*）說，假想冷的氣體成渦流運動，凝集而生小槽，小的近於中心，大的遠離太陽，在這些槽內運動相當激烈，亦不規則，打破一般靜力氣體方則。因此局部物質密度相當大，質量的核心能永久的凝縮。有時這些凝縮也拋出氣雲或塵雲的大部。

2.碎片說——這個假定在太陽系的生成需要特別暫時的事件。法人巴豐（*Buffon*）在1749年假想行星是由太陽與其他星球衝突而生的。詹士（*Jeans*）與張伯倫（*Chamberlain*）說實際衝突可能不必要，當第二星球接近時，能在太陽生成很大的潮汐（*tide*），太陽黑子實際為大物質雲拋離太陽遠達140,000哩。在接近太陽星球的重力下，潮汐高起部分，被帶走遠離太陽。大部分可能落回太陽，一部分可能以高離心率，在太陽周圍以橢圓軌道運行。同樣物質由經過星球拋出而殘留其後，此旋轉物質雲的角動量，將決定於通過星球對太陽的相對速度。

由太陽引出的大厚片氣將膨脹及擴散，由於膨脹而冷卻，其質量的大部集合成密的凝集而構成行星、衛星、小行星及彗星（*comet*）。隕石（*meteorites*）可能是這些凝集的小片，於事後破碎而分散。不被最大凝集體所捕獲的氣體，一部完全逃逸，餘部慢慢被太陽吸回。這再吸收可能是漸漸的。黃道光即認為是以薄雲殘留在太陽附近氣體的反射。

最初的膨脹氣雲能阻止行星通過的運動，而減少大多數物體的軌道離心率。彗星因為跟第二個星球遠至太空受影響較小，而得維持高離心率軌道，衛星一般情形都是單獨成立而在早期被捕獲。除去月球，衛星都比行星小得多。衛星的倒轉，用這樣激烈而暫時的事件，比用正常凝縮發展容易解釋。

這理論最大的難點，是不能說明太陽系角動量的分佈。太陽佔有3%

，而木星超過一半。木星質量僅1/1,000並因由通過星球拋出的物質有時可能返回太陽，假如在太陽外僅有一個星球，動量的現在分佈是不能計算的。拉塞耳（*Russel*）提議所有的星球約10％是成伴。此系的角動量的大部都在兩者相互自轉上。如太陽有一伴星，當第三星球接近至可以破壞它，則行星的角動量將來至太陽伴星的最初運動，太陽伴星的大部質量將被第三星帶走，有些落至太陽給了它的自轉，其餘構成太陽系的行星及衛星。太陽的伴星可能比太陽小得多，如小到足以成爲液體或固體，則更容易解釋行星密度及成分的變動。荷里（*Hoyle*）假想可能有一很密伴星成爲超新星（*supernovae*）。對這種稀奇的星知道的很少，相信由於核子反應可能爆炸而完全毀滅，留給太陽很少碎片。這些碎片將保持此系的原有角動量。

【Ⅱ】構造

因爲太陽引力的作用，運行於太陽周圍的天體，總稱爲太陽系。太陽系的天體，除了太陽和水星（*Mercury*）、金星（*Venus*）、地球（*Earth*）、火星（*Mars*）、木星（*Jupiter*）、土星（*Saturn*）、天王星（*Uranus*）、海王星（*Neptune*）、冥王星（*Pluto*）等九大行星之外，還有小行星（*Asteroids*；*Minor planets*）、彗星（*Comet*）、流星等等。至於環繞行星周圍而運行的衛星（*satellite*）以及黃道光（*zodiacal light*）等，廣義上也算是太陽系的天體。太陽系的直徑有120億公里，並呈圓盤形狀。九大行星繞太陽排列的順序，依上述，水星最內，冥王星最外。金、火、木、土四行星光輝特著，最易辨識；水星距太陽最近，體積又小觀之不易，其他如天王、海王、冥王三行星距太陽則甚遠，體積不大，故肉眼不能望見（圖4—183）。繞行於行星周圍者，稱爲衛星。月球爲地球的唯一衛星，火星有兩個衛星，木星有12個衛星，土星有10個衛星，天王星5個，海王星2個。

在火星和木星軌道中間，有無數小星體，也繞太陽運動，稱爲小行

星。現已發現的小行星，數目在 2,000 個以上。此外還有時來時去的彗星，又有細小的物體，飄浮於太空（*space*），一入地球大氣層，則摩擦發光，稱為流星。

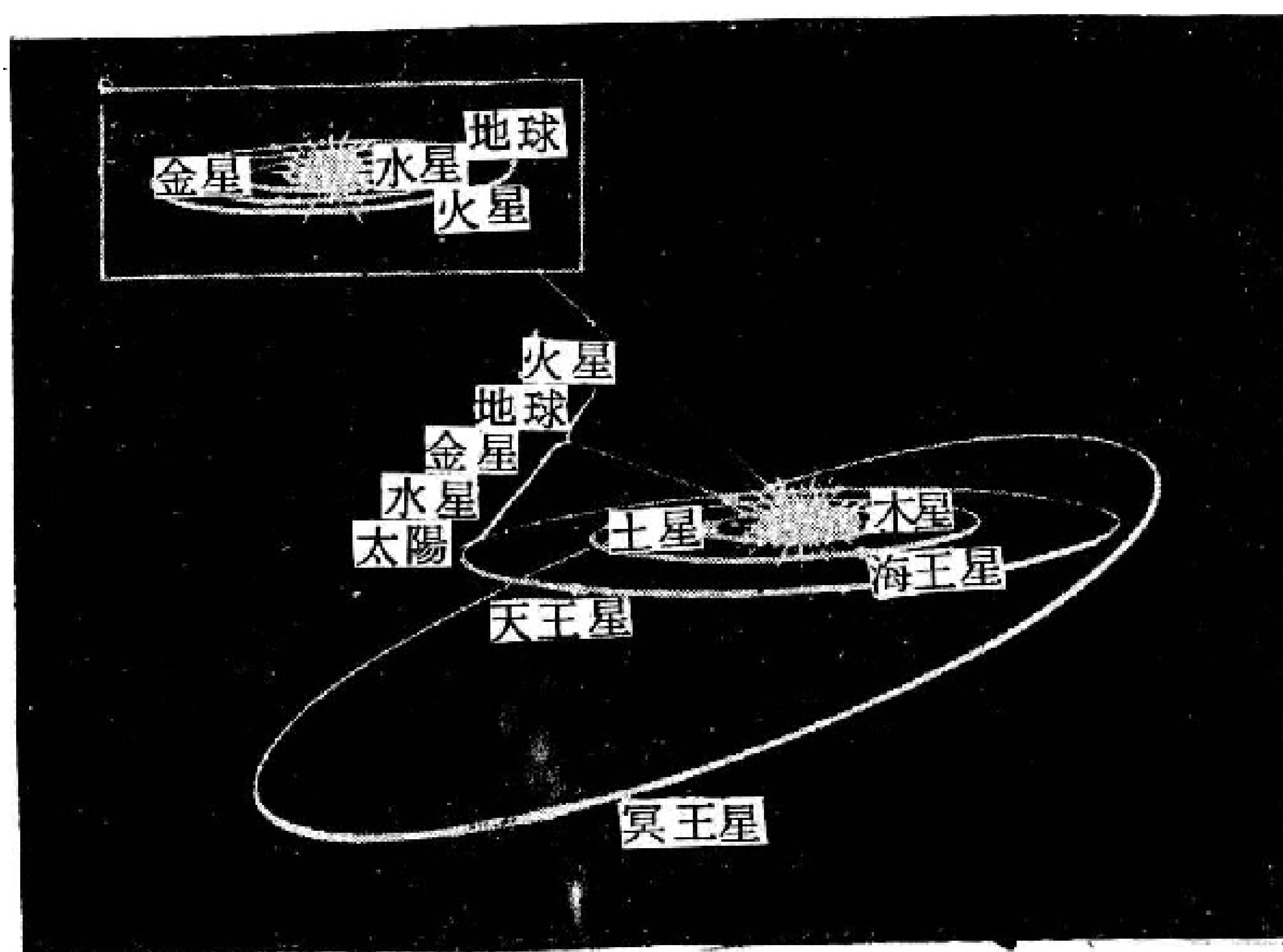


圖 4—183　太陽系九大行星之軌道

這些九大行星因太陽的重力而吸引他們在固定的軌道上，並依相同方向繞太陽而運行，除水星及冥王星外，所有的行星軌道都差不多在同一平面上，並同以太陽為焦點的橢圓上以同方向公轉。水星軌道與此成 7°，冥王星成 17°，太陽的自轉軸與此軌道的鉛直線成 7°。所有的行星除去天王星外，都以繞太陽公轉方向在自轉軸上自轉，太陽也以同方向自轉。天王星的自轉軸與其軌道軸成 98°。除去海王星的海神（*Tri-*

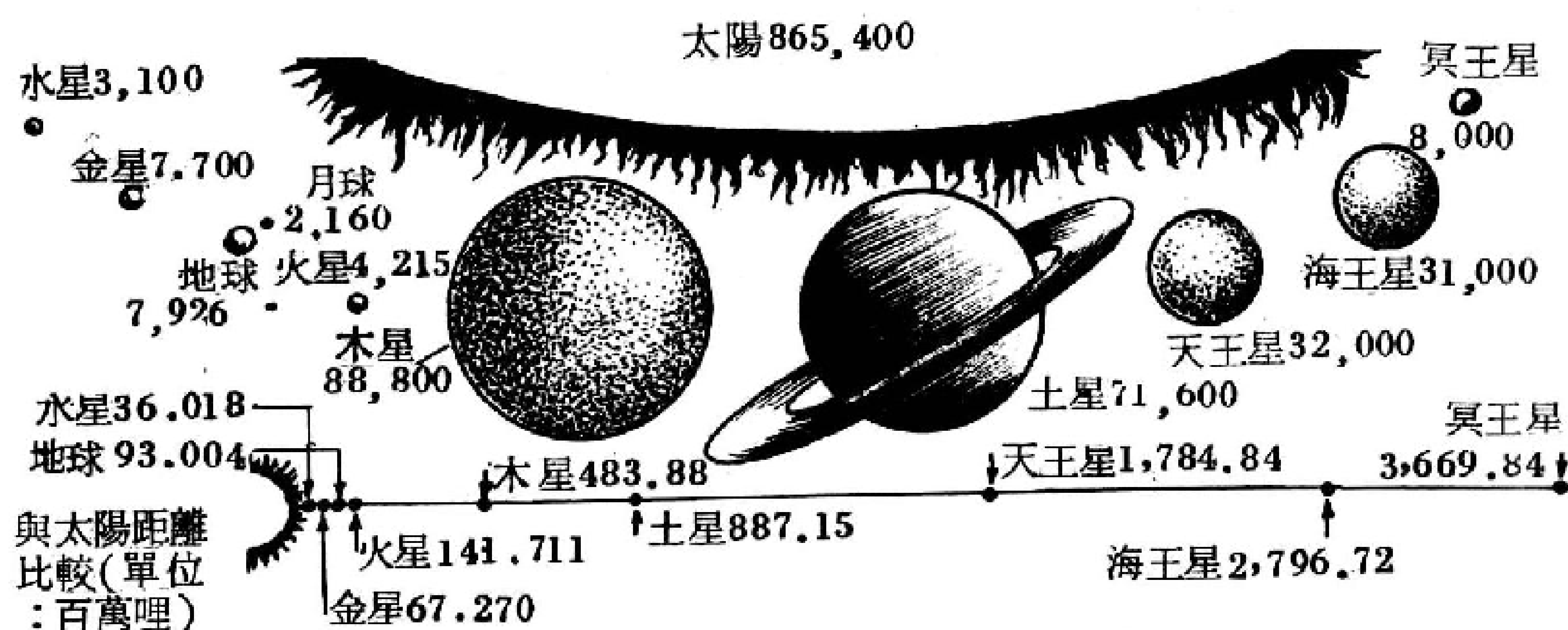


圖 4—184　太陽系各大行星大小比較及其與太陽距離
（其大小比較係用直徑，單位：哩）

ton ）因係最外圍的衞星，最容易獲得特別方法產生不正常反轉外，已知的 32 個衞星中， 25 個與它們行星以同方向公轉。行星們轉動的速度依它所在的軌道距離太陽的遠近而不同，離太陽愈近，速率愈快，距太陽最近的水星圍繞太陽一週需 88 天；地球需 365 $\frac{1}{4}$ 天，而離太陽 30.5億哩的冥王星則需 248 年轉一週。

太陽系內各星球大小及其成分組成不一，行星可爲兩部。內部的有水星、金星、地球及火星都小而密，含氫及氦少。外部行星有木星、土星、天王星、海王星都大而輕，含多量氫及氦有如太陽本身。各星球和太陽的相對大小如圖 4－184所示。月球缺乏氣體但比地球輕。小的行星缺乏輕的氣體，是由於重力弱，不能保持這些物質，如有相當速度及溫度則必逃逸。大的行星質量大，足以保持小行星所不能保持的。又因距太陽遠較冷，氣體更不易逃逸。但是由火星至木星間大小有跳動，兩組半徑的變動並不正常。火星與木星間的小行星離心率特別大（平均0.15），除冥王星之外，比任何行星都大。

太陽系在所居銀河系中之位置如圖 4－185所示。

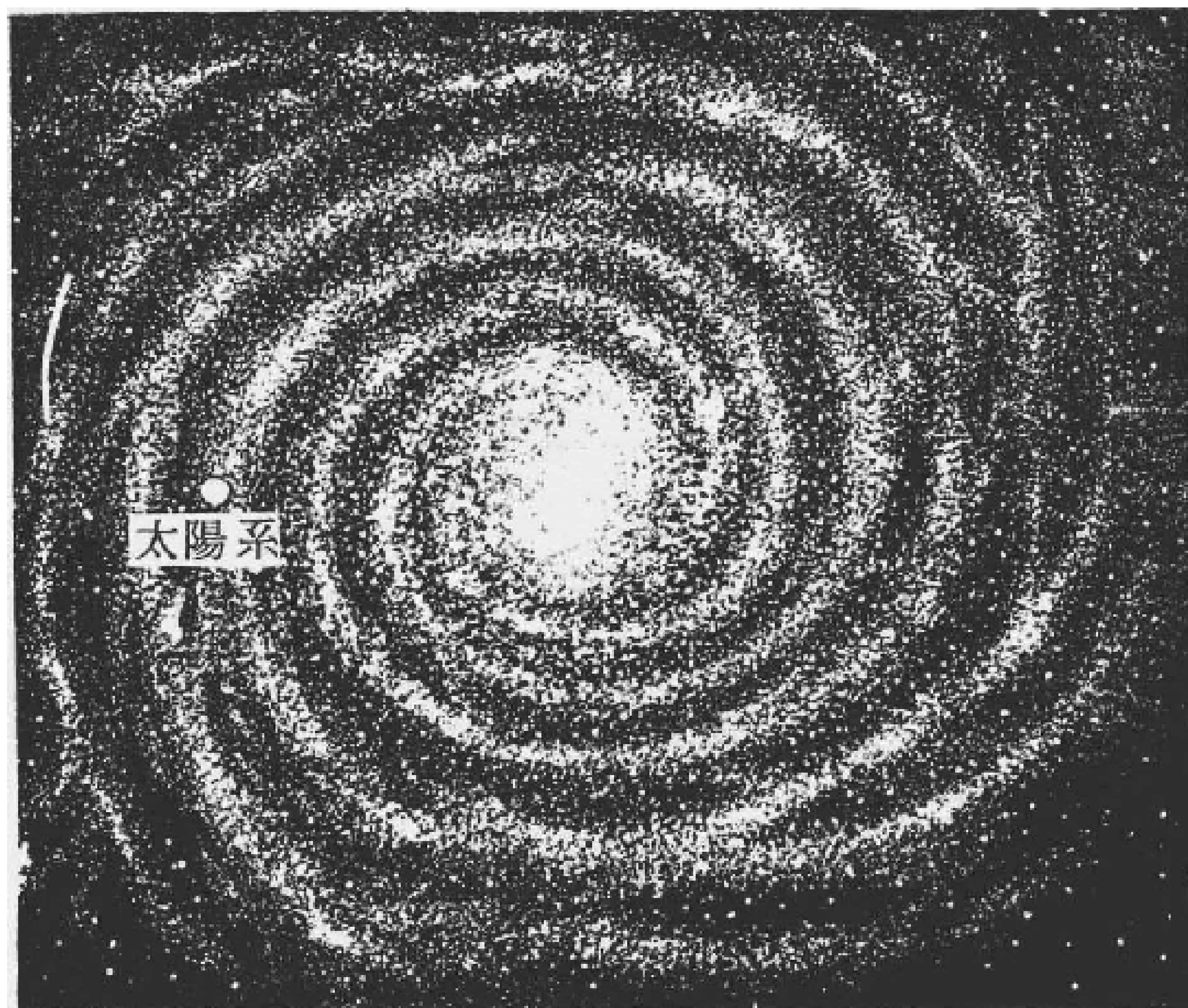


圖 4－185

【太陽附近光線之彎曲】（ Bending of light rays at the limb of sun ）

因爲光可視爲光子，光子的軌道就要符合一般相對論的預測。當光

子經過太陽附近時，由於太陽的質量很大，使光子的軌道不是直線，而是曲線。此曲線方程式是爲幾何上的最短曲線，可以寫爲

$$\frac{d^2 W}{d\varphi^2}+W=\frac{3GM}{c^2}W^2$$

上式所用符號可參閱“行星近日點前移”條。設$\delta\varphi$ 爲光子經過太陽時最後的偏向角，則由上式的解可得

$$\delta\varphi=\frac{4GM}{cr_0}$$

r_0 爲以直線行進時太陽心至直線的最短距離。當光線剛經過太陽表面時，r_0 爲太陽的半徑，此時 $\delta\varphi$ 之値爲 1.75 秒，此值在太陽全日蝕時可以測量到。

【太陽風】(Solar wind)

太陽風是一種電漿，以每秒 4×10^7 至 7×10^7 厘米的速度自太陽外流。它是由質子、電子也可能有阿伐（α）粒子及少量較重核子組成的，質子可由太空船直接量到，電子則曾經由研究無線電源的吸收性及干擾中而量得。自太陽中射出之電漿雲的電性是中和的，所以應有相等數目的正電及負電粒子。

太陽風雖自太陽輻射出來，但並非在各方向等速流動，自太陽赤道區向黃道平面來的電漿較自太陽兩極來的多。

在地球軌道上，太陽風中的質子密度普通在每平方厘米每秒 10^7 至 7×10^8 個質子，這是在太陽活動低潮時期量的數據。我們發現在太陽活動期中，質子密度會有增加。

太陽風是從日冕（*corora*）中發出，日冕的溫度有 10^6 度K，溫度高到勝過太陽引力。太陽表面上的脫離速度（*escape velocity*）是每秒 6.0×10^7厘米。氣體在一百萬度下的平均速度約爲每秒 1.3×10^7 厘米。脫離速度雖大過質子的平均速度，在日冕中的質子仍有可觀的部

分其速度超過脫離速限。所以日冕是電漿外流的能源。

太陽風顯然有三組成分：

1. 一種低密度自靜的日冕中外流，趨向密集在黃道平面。

2. 來自太陽局部地區的一種穩流。

3. 來自太陽噴焰中的陣陣高能電漿。

圖4—186是有些理論物理家推測太陽風的情形，這是俯視太陽北極的圖解，箭頭指示太陽轉向。疏點表示第一組，由於日冕穩定擴展的弱穩太陽風，絲狀註有 R - 光的代表第二組，自太陽局部地區來的電漿流，這種絲流可延續太陽好多轉，當它每次掃過地球或太空船，會使地球磁場混亂，假如掃過地球附近的太空船會使速度增加，也有時會使空氣中粒子密度增加，這種波動有一定的週期性相隔 27 天，這是自地球上觀測太陽自轉

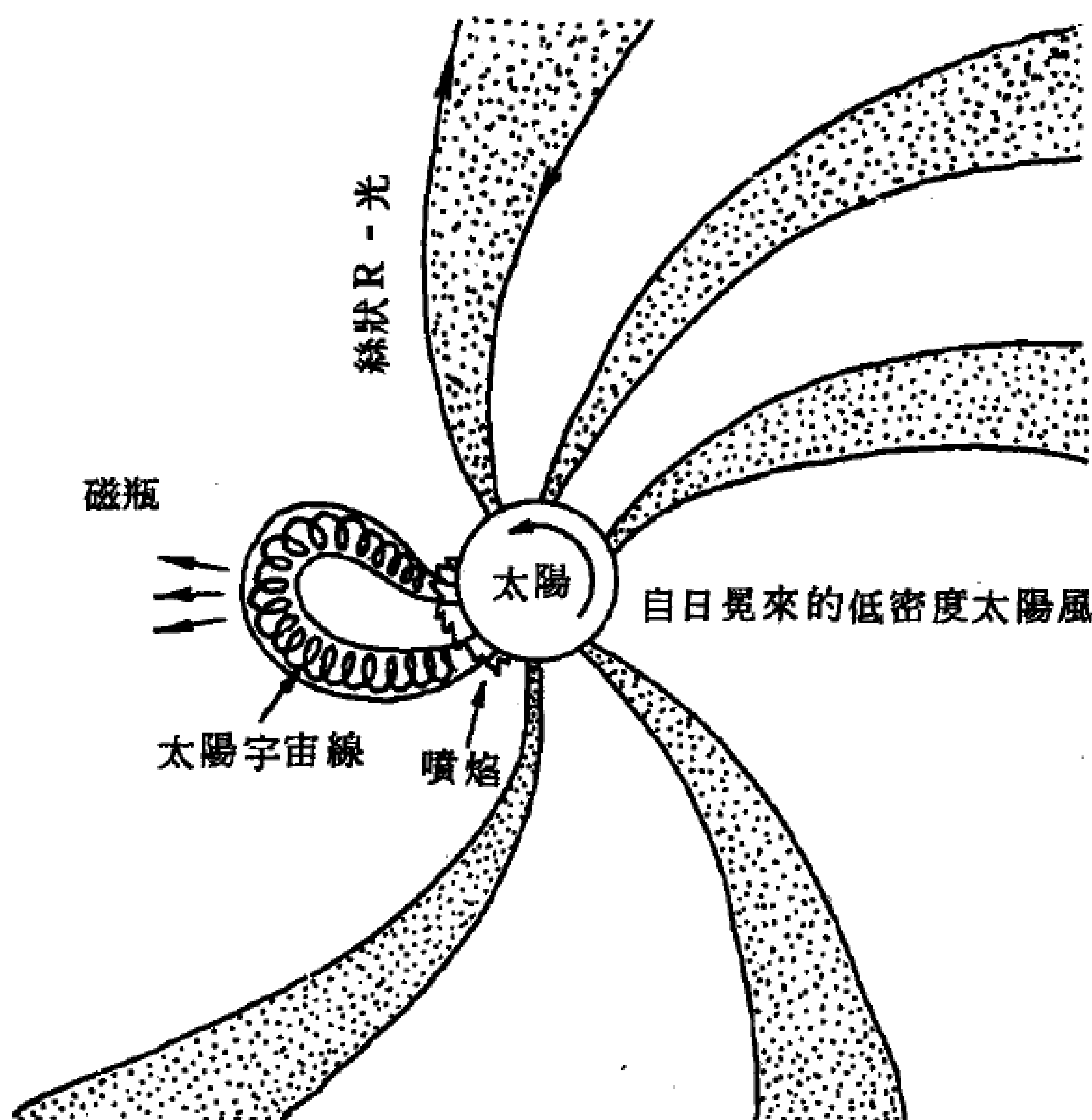


圖 4 — 186

這是太陽的電漿圖解，向太陽的北極俯視，箭頭指示太陽轉的方向，“ R - 光 ”想是一種狹的絲狀漿流來自太陽活躍區，至少伸延到地球軌道上，當太陽旋轉有漿流經過，太陽風密度會增加。一個“ 磁瓶 ”是高速電漿帶有凍結的磁場，宇宙線沿磁場廻轉，顯然也有低密度的太陽風來自平靜的日冕。

的週期。太陽噴焰外的環狀是第三組太陽風。自太陽火焰中噴出高能電漿帶有捕獲的太陽磁場離開太陽，這種情形稱作"磁瓶"（*magnetic bottle*）。太陽宇宙線（*solar cosmic rays*）沿磁力線廻旋，當這種磁瓶掃過地球，太陽宇宙線的通量會急遽增加。太陽表面發生爆炸時，射出的帶電微粒子愈遠，飛行速度愈慢，但溫度升的愈高。太陽風的速度是每小時二百二十萬哩。

有時，太陽風可發展為一太陽風暴，於是在地球上便發生為一般所熟知之電離層風暴。但須特別注意者，即所謂質子風暴；有時太陽中之質子以極高之速度迸出，其速度幾可達光速的三分之一。由於質子具有極高之速度，其穿透力亦極強，以致幾可毫無阻礙地擊穿太空艙之艙壁，又在某種情況下，可以破壞人體中之重要細胞，而危及太空飛行人員之安全，因之，使保護措施甚感困難，需數厘米厚之金屬甲板始能防止。再者，由於質子在甲板上撞擊所引起之次輻射（*subradiate*），對人體之危害尤較原始之輻射為甚。所幸上述達於危險程度之質子風暴，極不多見。

組成太陽風之帶電的氣體質點雲有一特質。對行星際空間與地球大氣邊界上所發生之事變，極具意義。因該質點雲為極佳之良導體，唯電之良導體極難無拘束地在磁場中運動，如其動能較磁場之動能為大，則提帶該磁場繼續前進，顯然此即為太陽表面所發生之情形。寧靜太陽之磁場比例較弱，將為所迸發之太陽風強力曳出，故太陽風中之磁力線，對太陽表面言，主要成輻射狀。於太陽噴焰之同時，太陽之局部磁場亦加強，換言之，即此一被騷擾之磁場，是由太陽所迸發之氣體所拖曳而出。因此，在上述之氣體雲中，可找到磁場，其方向及強度與輻射狀及未經騷擾之磁場相異。

其次，如地球磁場之能量較所迸發之電漿為大時，則此一迸發之電漿將被突然阻止，而形成一衝擊面，此即為太陽電漿被拒留於地球外8

至 12 地球半徑距離（50,000至80,000公里）處之情形，因該處地球磁場之強度，對太陽風之作用猶如一道無形之障壁。

太陽風自由流動區域與地球磁力層間之界限並非恆定，而視太陽風之強度及在地球半徑二至三倍之範圍內變動。當強度增加時，其界限愈推向地球，磁場所受到之壓力，可在地面上以靈敏之磁力計予以測定證明。於發生強烈之質點輻射暴時，上述之界限將大爲變形，此時質點顯然可直接竄入輻射帶乃至於游離層中，結果形成如前述之游離層風暴等。

其次，吾人尤不可忽視者，當地球自轉時，磁力層亦隨之轉動，因之，自早至晚面向太陽之區域，始終非爲同一區域，而背向太陽之區域，則被籠罩於拉長之囊尾中，其中之情況迄未完全明瞭。圖 4—187亦爲一推測之情形：由水手二號送回的消息判斷，地球及其磁場可以想像

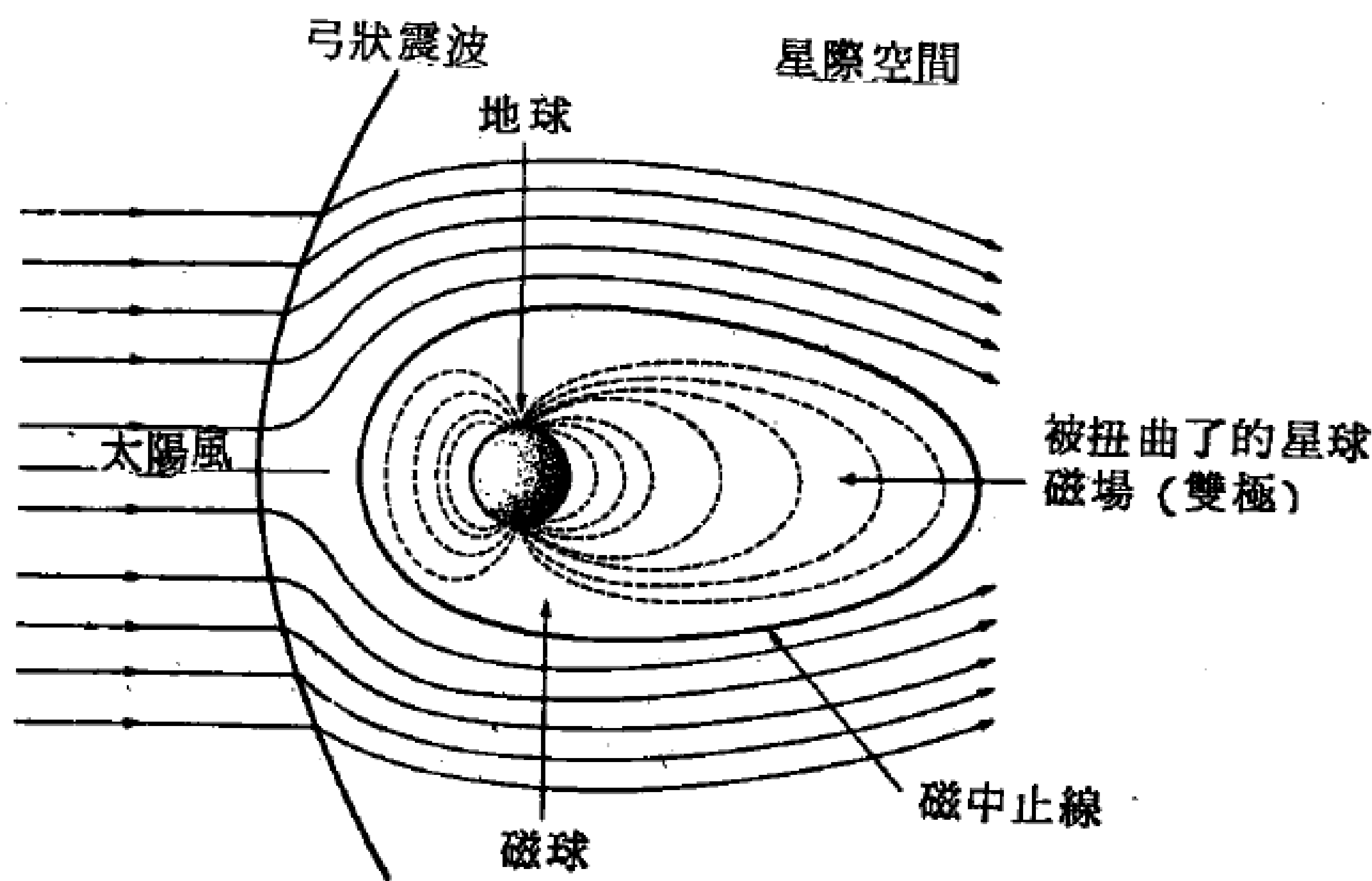


圖 4—187. 想像中的地球磁場被太陽風所扭曲之圖

成一個巨大的封閉“氣泡”——磁球（*magnetic sphere*），在向著太陽的方向，磁球半徑達到大約 35 到 140 萬公里，在相反的方向更遠。

地球磁場和星球間的空間變遷區域，明確的加以劃分，稱之爲磁中

止線（ *magnetic pause* ）。在面對著太陽的磁球面連續不斷地感受到太陽風，因此，在這邊的磁場是比不受太陽風射擊的那一邊的二倍強。此外，在向太陽那邊，有一個弓形震波正在磁中止線之前，從太陽向地球來的電漿流受到磁性中止線的影響而偏折，像氣流環繞著飛機翅膀一樣，它繞著磁球流動。

在磁中止線裏頭就是游離層，在游離層之下的所有其他的大氣層已經十分爲人們所熟悉。在游離層，極光（ *polar light* ）呈現出它的顏色，表示極光在極稀薄的氣體能夠傳導電的事實。其實與極光同時存在的磁場，其強度非常低，約爲 0.3 高斯（ *gauss* ）。

【太陽能】（ Solar energy ）

太陽的熱能日以繼夜的向四周放射，理論上應有枯竭的一天。但由於太陽的體積太大，而且內部又不斷進行質量轉爲能量的反應，所以就人類而言，太陽輻射出的熱能，簡直是取之不盡，用之不竭。過去因爲地球資源豐富，人類從未認眞研究過太陽能的運用問題。直到本世紀中葉，一方面因爲資源爭奪白熱化，一方面因爲科學技術的進步，若干先天不足的國家本著窮則變，變則通的宗旨，才稍稍注意到這個問題。目前科學家們已對太陽能方面獲得了一連串的新觀念及信心，促成這些成就的主要因素如下：

1. 動力的需求——人類已感到天然氣與油料漸次缺乏；爲挖掘煤碳而搜尋礦苗也嚴重的破壞了山水與風景；即今日世界上的大多數人民又極力反對使用核子動力。因此，幾乎每一個人都在翹首冀盼，希望有一種新穎而乾淨的像“太陽能”與“大地熱能”之類的動力來源出現。

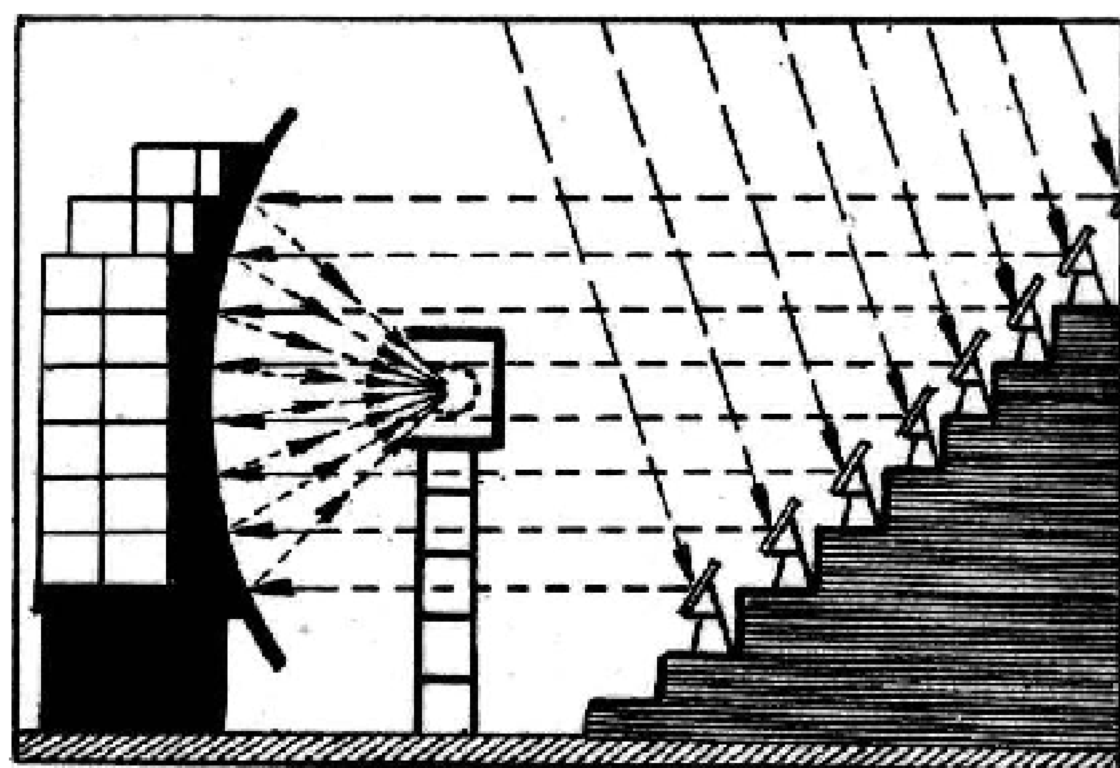


圖 4 — 188　太陽爐構造原理

2.工藝上的突破——固態物理學及科學界其他方面的進展，使前此被認爲難於實現的偉業成爲可能，甚至合乎經濟原則；動力專家富里門博士（*S. David Freeman*）說：「太陽能是我們所忽視的有利目標之一，但其經濟價值已日漸看好。」

直接從太陽獲取能源的概念，並非是高談闊論；事實上，人類日常生活中所享用的大部能源都是來自太陽，只是絕大多數人並未瞭解而已。舉例來講，我們所謂的"化石"燃料如油料、天然氣與煤碳這都是幾百萬年以前所儲藏之太陽能。但這些都是吸取太陽能而轉變爲電能的古老方法（如樹葉等吸收太陽能，然後儲藏無數年後而成爲煤、油或天然氣；人類使之燃燒而產生蒸汽，再經過渦輪帶動發電機），已不足應付今日人類需如許大量能源的社會。現在所利用的化石燃料需要六千五百萬年的時間才能形成，但依照我們現代所消耗的速度來看，不過兩百年就快全部用罄。

爲緩和日益缺乏的能源危機，成打以上的新計劃都已先後提出：如核子動力——特別是快速滋生反應器（*fast breeder reactor*），似乎可以提供人類數千年所需之豐富能源，但很多人卻對這種滋生反應器的可靠性產生極大的疑慮！

核子融合（*fusion*）是另一條有希望的方案，但問題是，目前還沒有發明。雖然這一計劃的前途令人嚮往，卻也不可能在這一世紀內成爲重要的動力來源。

另一項強力的計劃是"地熱"，目前正在進行研究工作。一般預料，從地球上所產生的能源，將是今後若干年中較重要的一種來源。

爲配合全世界日益增加的電力需要，人類必須利用可能掌握的一切動力來源。因此，基於下列這些因素，我們不能不考慮到利用太陽能的可能性。

現在地球上每天二十四小時從太陽所攔截的熱能約 173×10^{15} 瓦，

大於目前全世界的發電能量十萬倍。易言之，十五分鐘的太陽能，足夠全球一年的消耗量。僅以太陽每天平均照射於“伊利湖”的“能”來講，就已超過美國二十四小時所消耗的全部“能”。

但卻不能因爲太陽能取之不盡，就顯示我們很容易利用；相反的，科學家們首先就遭到兩個棘手的問題：

1. 太陽能是擴散的。故須運用昂貴的裝備去含蓋一廣大的地區，才可收集大量的太陽能，再變換爲電能。

2. 太陽能是間歇的。在地球上的任何一部分，太陽只能在白天才能照射。但人類卻是二十四小時需要電力，故必須經由精心的設計及昂貴的儀器，以完成一套“儲能系統”。

在原則上來講，我們無需借重產生化石燃料的“光合作用”老辦法，而可運用其他若干手段就可把太陽能轉變成電能。

(1)是熱量集中法——集中太陽熱，將水或其他物質燒沸，再運用高熱轉動渦輪，因而產生電力。目前美國很多研究計劃（包括亞利桑那大學的研究機構），都是運用此一手段。

(2)是直接變換法——若干半導體物質如矽，可吸收光量子，然後產生小股電位；美國許多太空船所使用的電力，就是藉排列的太陽電池直接供電。

收集熱量的原則亦甚簡單，正如我們所知，當我們把手放在一塊太陽光照射下的鐵皮上，我們就感到有熱。一件物體置於太陽光下即可吸收熱，暗黑色的物體可吸收太陽能投射出的熱達百分之九十五。

但要把這種熱量轉變成電力就不如此簡單，否則，這種大自然的動力早就被人類利用上了。因爲熱量收集器吸收到可見距離以內的“光”，並將其轉爲“熱”時，“光”即開始再輻射爲紅外線；同時，還使周圍的空氣發熱，因而在這種對流的過程中消耗大量的“熱”。消耗“熱

”的速度，幾與吸收相同，很快就形成一種“平衡”的狀態，故永難達到“極熱”的程度。

一具理想的熱量收集器，應當吸熱快而輻射特別慢；使其達到某種高溫，這樣才能以氣體或液體注入內部系統，以收集所集中的熱力，然後用以產生高溫及高壓蒸汽，以驅動渦輪。

【太陽能收縮說】(Contraction theory of solar energy)

1854 年德國生理及物理學家赫爾姆霍茲 (*Hermann Ludming Ferdiand Von Helmholtz*) 提出此學說。赫氏認為太陽之熱和輻射能起因於太陽冷而收縮所致。此學說之基礎為當一物體收縮時即失去其潛熱 (*latent heat*)，並獲得等量之熱動能 (*kinetic heat energy*) 。

自赫氏提出上項理論之後 70 年間，科學家咸信賴其學說。從此學說可以計算出地球之年齡迄今不會超過 250萬年，而且其壽命亦不可能超過 1,000 萬年。就是太陽之年齡亦不超過 5,000 萬年。因為屆時太陽將成為一冷固體，已失去支持地球生命之力量。

基於上述及地質學家研究地球岩石之結果，證明其學說並不確實，其立論並不穩固。代之而興者為原子能學說 (*theory of atomic energy*) 。

【太陽常數】(Solar constant)

太陽所傳送到地球的熱量，是隨著不同的地區而互異。除此以外，即使就同一地區而論，也是隨著季節的變遷，以及一天之中時間的差異而有所不同。凡是太陽光線落到地面上愈垂直，其照射時間愈長久，則此一熱量也就愈大。

法國物理學家普以葉 (*C. S. M. Pouillet*) 為了要測量照射到地球上的太陽熱能，曾經使用過一種所謂日光熱量計 (*pyrheliometers*) 。此種儀器乃水卡計之一種，係由一根金屬套管所組成，管中有水，

並將管蓋塗黑。塗黑的意義，乃是要使所有落到上面的太陽射線，全部吸收。由於此一熱量之吸收，乃使其中之水加熱，並使插入其中之溫度計，指示出溫度的升高。現在，我們倘使陽光垂直地在管蓋上照射幾分鐘，於是就可以從其水量、溫度之增高以及同樣情形下該儀器之已知水當量等數值，算出在單位時間中單位面積上所垂直射入之日光熱能。倘若我們考慮到陽光射入地球大氣層後所受到的熱量的損失，則我們所能得到的數值即為：在大氣層界限附近之處，其於每分鐘內，在每一平方厘米的黑體面積上，垂直射入之熱能，如以地球至太陽之平均距離計算，約為 2 卡左右。這也就是在一分鐘之內，能使2克之水增高溫度1°C之熱量。我們稱此一熱量為太陽常數。根據近代儀器（露光計，或稱曝光計，是一種對光具有敏感的物質，可於受到光線之影響後加以觀察的儀器）的計量，此一數值乃為每分鐘 1.93 卡。

根據此一數值，則每一平方米的面積，於每一小時中，由於垂直照射所受到的熱量，乃為 2 × 10,000 × 60 = 1,200,000 卡 = 1,200 仟卡。於是，在一平方公里面積之內，由於每一小時的不斷垂直照射之結果，就受到了 1,200,000,000 仟卡的熱量。我們可以這樣假定，這一熱量也可以由下述情況來產生，這也就是在平均的緯度上，由於每一整天之斜射日光向一平方公里所發射的熱量。這一數值，相當於約 150 公噸煤所產生的熱量。如果我們假定，1 仟克之煤，在燃燒時可以產生 8,000 仟卡熱〔 1,200,000,000 ÷ 8,000 = 150,000（仟克）= 150（公噸）〕。在全部一年之中，太陽發射到地球上來的熱量，共計為 $1,200 \times 10^{18}$ 仟卡。倘若將此一熱量，平均分佈於地球表面，則其影響所及，將可使蓋住全地球約 30 米厚的冰層，全部融化。

太陽常數如使用英制單位，其值為每平方碼 1.07 *B.T.U.* 。*B.T.U.*為英熱單位，即將一磅之水升高攝氏溫度一度時，所需之熱量。

美國史密遜學院（*Smithsonian Institution*）阿柏特博士（*Dr. Charies Greeley Abbot*）曾在南北半球建立多處測量站觀測太陽常數。阿氏經多年觀測結果，認爲太陽常數與太陽之安靜與否有極大關係。他認爲當太陽黑子極大期時，太陽常數較平常高出百分之二或百分之三。

【太陽頂點】（Solar apex）

太陽帶著全太陽系在銀河系內向某方向一直前進；這方向在天球上的位置，叫做太陽頂點。從恆星自行（*proper motion*）所得的結果，知道太陽頂點是赤經（*right ascension*）18時10分，赤緯（*declination*）北37度；但由視線運動（*radial motion*）所得的結果，是赤經17時40分，赤緯北24度。由肉眼所能看見的星體全部的自行和視線運動所得的平均值爲赤經18時，赤緯北28度，速度每秒19 公里；就是太陽以每秒19 公里的速度向織女星（*Vega*）的稍西南方向前進（如圖4—189）。

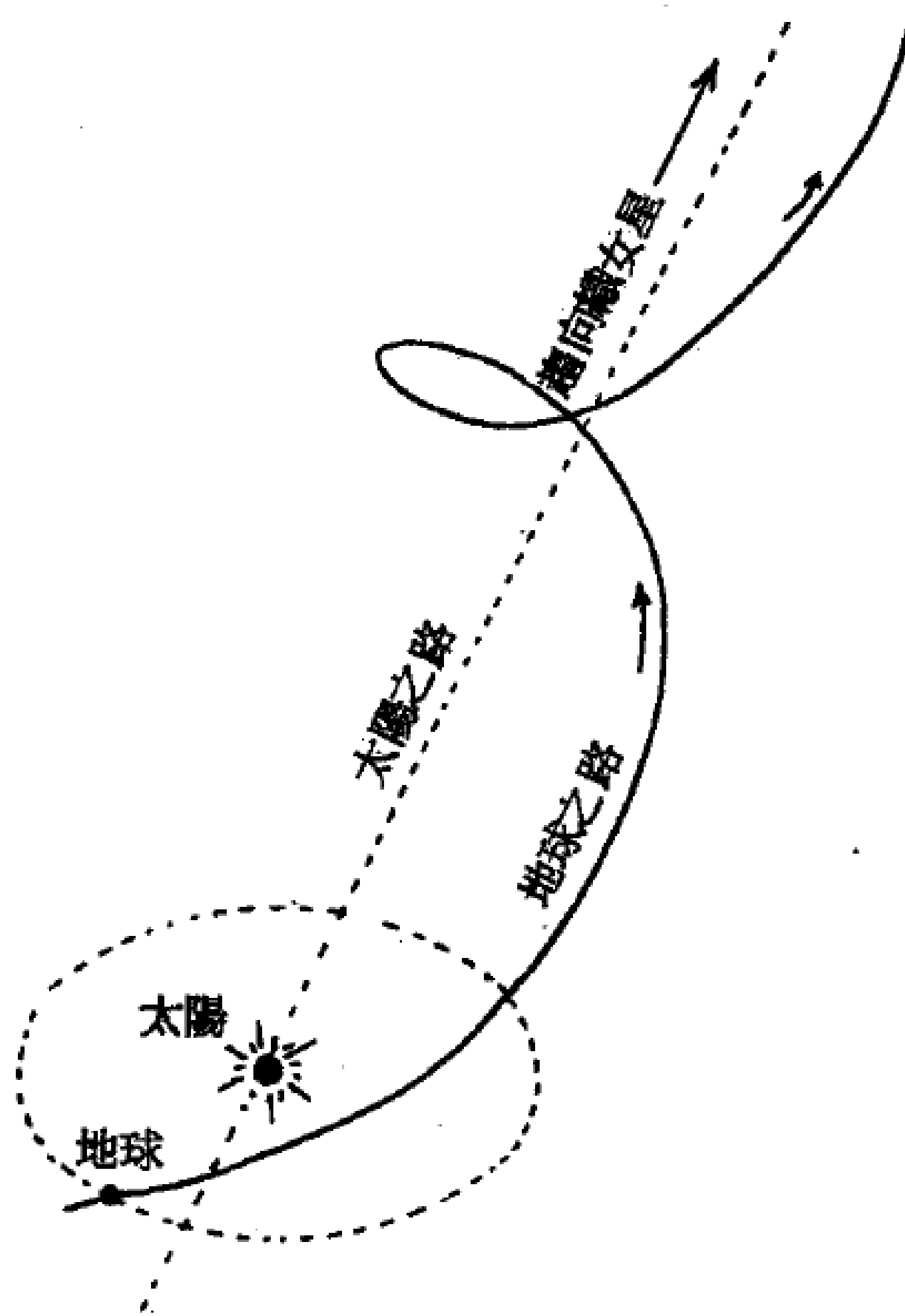


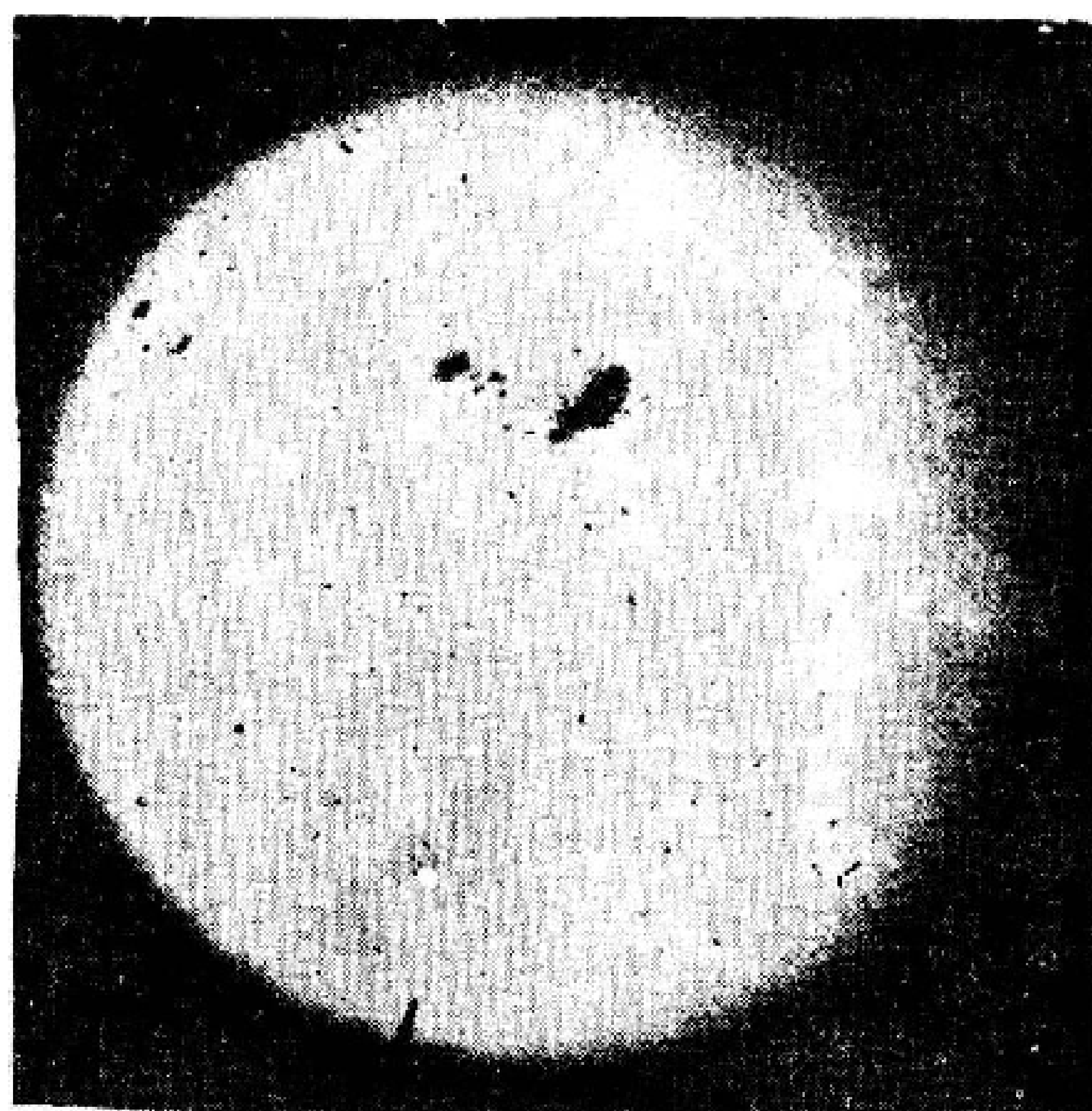
圖4—189 太陽和地球的徑路
太陽向著織女星方向而前進；
地球則繞著太陽，也向前進。

【太陽黑子】（Sunspot）

太陽光球面上常有黑子出現，分爲本影（*umbra*）和半影（*penumbra*）兩部分。本影是黑子中央黑暗部分，半影是黑子邊緣稍黑的部分。本影雖然黑暗，實際不過比光球黑暗而已，因爲黑子溫度估計在華氏7,000°

左右，其亮度不算小，比我們地球上任何人工的光都亮。黑子的部分多比光球凹低，由光譜可以知道它的溫度比光球面低。

黑子出現以前，多先有光斑（*faculae*）出現，出來以後在它的周圍，普通也見有光斑；黑子消失以後，多留有光斑。光斑是光球面上不規則的氣雲，比光球面外的部分輝明，覩如白色。愈近太陽面邊緣則光球愈暗，而光斑越顯明。黑子最初出現的時候，大都近乎圓形，以後漸漸變化，消失以前，分裂爲多數的小黑子。黑子的直徑大小不同，自 1,000 公里乃至 100,000 公里（圖 4 — 190）；歷史上最大的太陽黑子爲 1947 年四月所出現的，面積達六億平方公里，佔太陽表面6,131/1,000,000，爲地球全表面之 100 倍。



(a)一羣黑子在太陽表面的活動情形

(b)一羣黑子活動的圖形

圖 4 — 190　太陽黑子

太陽黑子不獨隨著太陽自轉而移動，實際它本身在太陽面上也有移動。黑子在太陽面上出現的部分，以日面南北兩半球緯度 5°至 40° 左右爲限。

通常黑子持續時間僅爲數日，故可利用黑子作爲記號，判別太陽之自轉。持續時間最久者爲 1840 — 1841 年出現之黑子，它在太陽平面共留了 18 個月；其次爲 1948 年 5 — 11 月出現者，共停留 170天；再次爲 1911 年之黑子，共停留 136 天。太陽面上黑子的多寡，平均約以 11 年的週期而變化，但這週期是常常有變動的。在這週期的初期，黑子多在日面南北緯度 30°附近；過了極大期，以至末期，漸漸現於赤道附近，這叫做斯波埃（*Spörer*）定律（圖 4 — 191）。

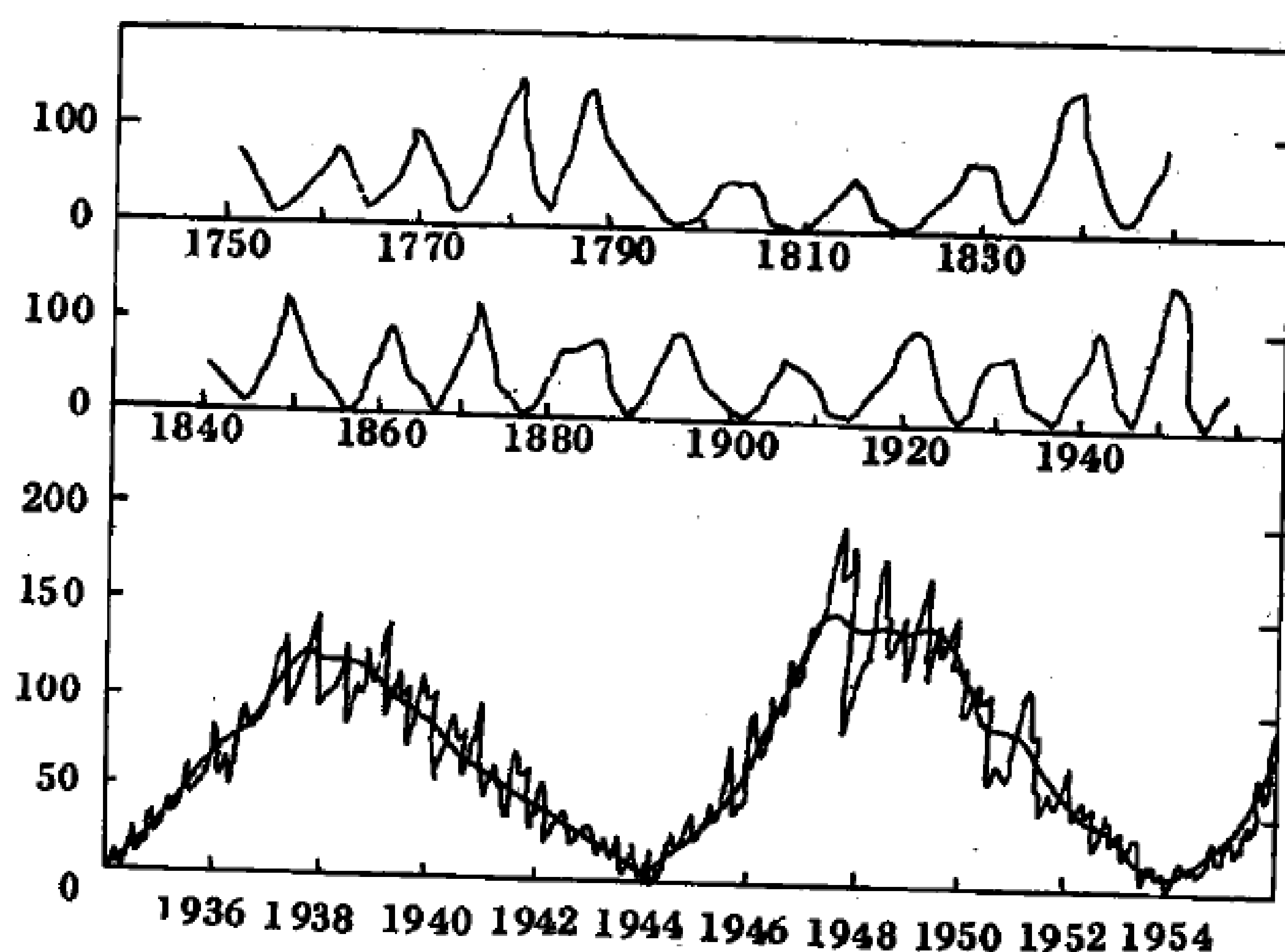


圖 4 — 191　1935 — 1955 年黑子數圖表
最多和最少發現時間間隔約爲 11 年，1958 年比 1947 年更多。圖中最多時爲在 1780 、 1860 、 1950 附近，故其週期亦可說約爲 90 年。

最大之黑子肉眼可以看見，我國古天文學家觀測黑子具有相當歷史，且有詳細紀錄。最早而可徵者爲漢書五行志所載；漢成帝河平元年三月乙未日之黑子曰：" 黑氣，形狀大如錢，居日中央。" 漢成帝河平元年合西曆紀元前二八年，那時西人尚不知太陽黑子之存在。

其後晉書天文志、（晉）安帝本紀、魏書天象志、（後）周宣帝紀

、唐書天文志、五代司天考、宋史本紀、宋史天文志、明史天文志等對於黑子均有觀測紀錄。

觀測太陽黑子要使用黑玻璃（黑鏡 *smoke glass* ）或黑色照像底片，以保護眼睛免受強光傷害。大多數黑子，只能用望遠鏡看見。

太陽黑子週期性的出現，干擾電波，妨礙無線電通訊，並造成惡劣的氣候。事實證明，對政治、經濟和醫療健康，也都有顯著的影響。通常太陽黑子越多，磁暴也就越猛烈，亂而對地球上通訊、電力輸送，甚至氣候的影響也越大。雖然科學家們致力於研究太陽已有幾個世紀之久，但是對於太陽黑子、磁暴和其週期性活動的起因仍然是所知甚少。太陽黑子是太陽表面的某些地方，由於溫度較附近表面為低，所以看來是黑色的。這些黑子和強烈的磁場有關，而磁暴的發生即是磁力作用之時。太陽的磁場吸附住環境周圍的游離物質，當磁場增強時，磁暴也跟著猛烈。溫度上揚幾百萬度後，即產生可見光線波、紫外光波、*X*光波和無線電波的閃光。這些閃光可以穿透地球大氣中的無線電反射層，在其下產生了一層吸收無線電波的游離氣體，因而阻礙了通訊。

從磁暴射出的質點到達地球後，受到地球磁力的作用，向磁極彎曲。這些質點會干擾無線電反射層，擾亂地球的磁場，造成“磁風暴”，使羅盤針反常；而這些質點衝進大氣層時比平常偏離兩極。因為這種作用，使得通常在兩極出現極光。

許多線索中，最後可能解釋磁暴現象的是太陽黑子極性的週期型式。太陽黑子的發生具有成對的傾向，在每十一年一次的週期中，每一對中的東邊黑子的極性是正或“北”極，而另一個黑子則是負或“南”極。這時太陽也具有一個微弱的全磁場，北磁極在頂端。

然而，在下一次的週期裏，剛好全部相反。因此太陽磁場的極性和太陽黑子一致。

近代認為黑子形成之理論謂太陽黑子類似颶風之旋渦風暴，並在太

陽之外部形成，熱氣體在旋渦中向上升起，因氣層上部壓力較小，乃膨脹而且冷卻而吹離太陽表面外。黑子常有性質相反的兩羣並列發生，這比單獨發生的時候多。

【太陽黑子週期】(Sunspot period)

詳閱“太陽黑子(*Sunspot*)”條。

【太陽渦旋】(Spicules)

自太陽色球(彩層)中伸出的噴焰旋渦。

【太陽電池】(Solar cell)

太陽電池乃由地球上一種最常見之元素矽所製成。但不像其他常見的矽，例如砂(*sand*)那樣的，做太陽電池用的矽是經過仔細製備的，能在矽吸收光線時使電子在分子結構中以一種特殊方式運動。每個太陽電池經過化學的製備，即有一中間層(*internal layer*)；當電子打算移向一特殊方向時，此中間層作用對自由電子如一障壁(*barrier*)。事實上，太陽電池在光線中曝露時它能控制電流方向。

除產生此中間層外，化學組織的矽安置在此障壁之內側，如此障壁曝在光中的一側，每個分子中有更高百分數的電子。因障壁層使電子僅向一方向流動(在此場合，即遠離電池中曝光的一例)，而封鎖反方向的流動。當光線照射在電池上時，乃產生電流，且向預定的方向移動(圖4— 192 及圖4— 193)。

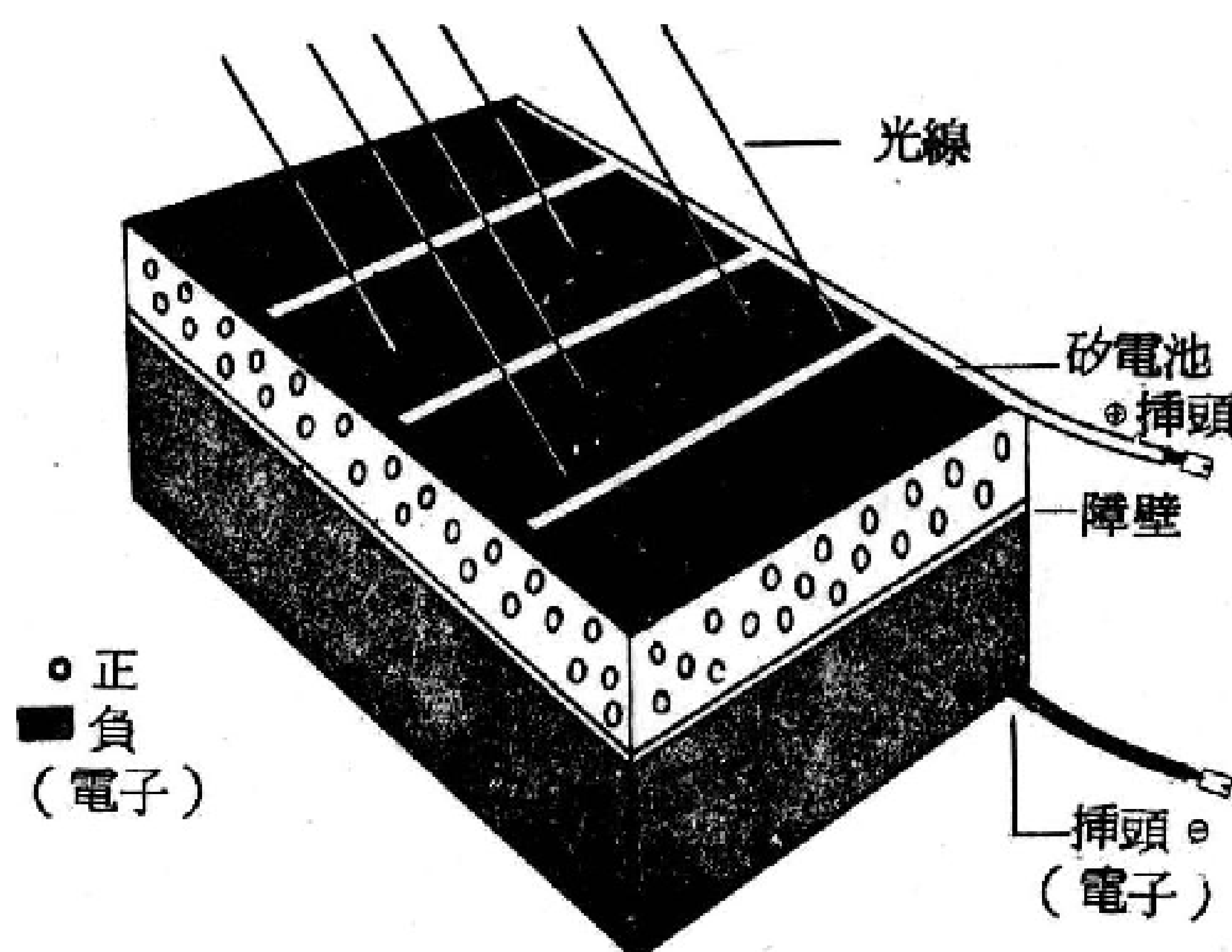


圖4—192　矽電池之截面示明光-電轉變之程序

太陽電池其電子結構在一不穩定平衡狀態中。在光線中，單位之光稱爲光子（ *photon* ）被矽的表面吸收，使此電池之電子平衡愈形紊亂。電子爲光子所移動：電子不再與其母體鍵接，乃自由地運動而造成所遺留的“孔”（相當於正電荷）。在太陽電池中之電位障壁（ *potential barrier* ）允許自由電子通過電池之反側（背面），而含孔的部分集聚在電池之另一層中，因電子不能由該側通過障壁。其結果，在此時太陽電池之一側變得被負電荷的電子所飽和，而另一側則被含正電荷的孔所飽和。因分子之正常狀態製成一物質在每一單位中含有所有電子，此等已經自由及正常分子位置中獨立出來的電子，今在活躍地在電池之分子結構中尋求新的位置，在孔中與往常一樣運動的電子被太陽電池之中間障壁同等隔離起來。因此電子及孔能相互接觸之地點，唯有穿過若干外在的途徑——而提供如此之外在途徑即爲太陽電池有用的電流。

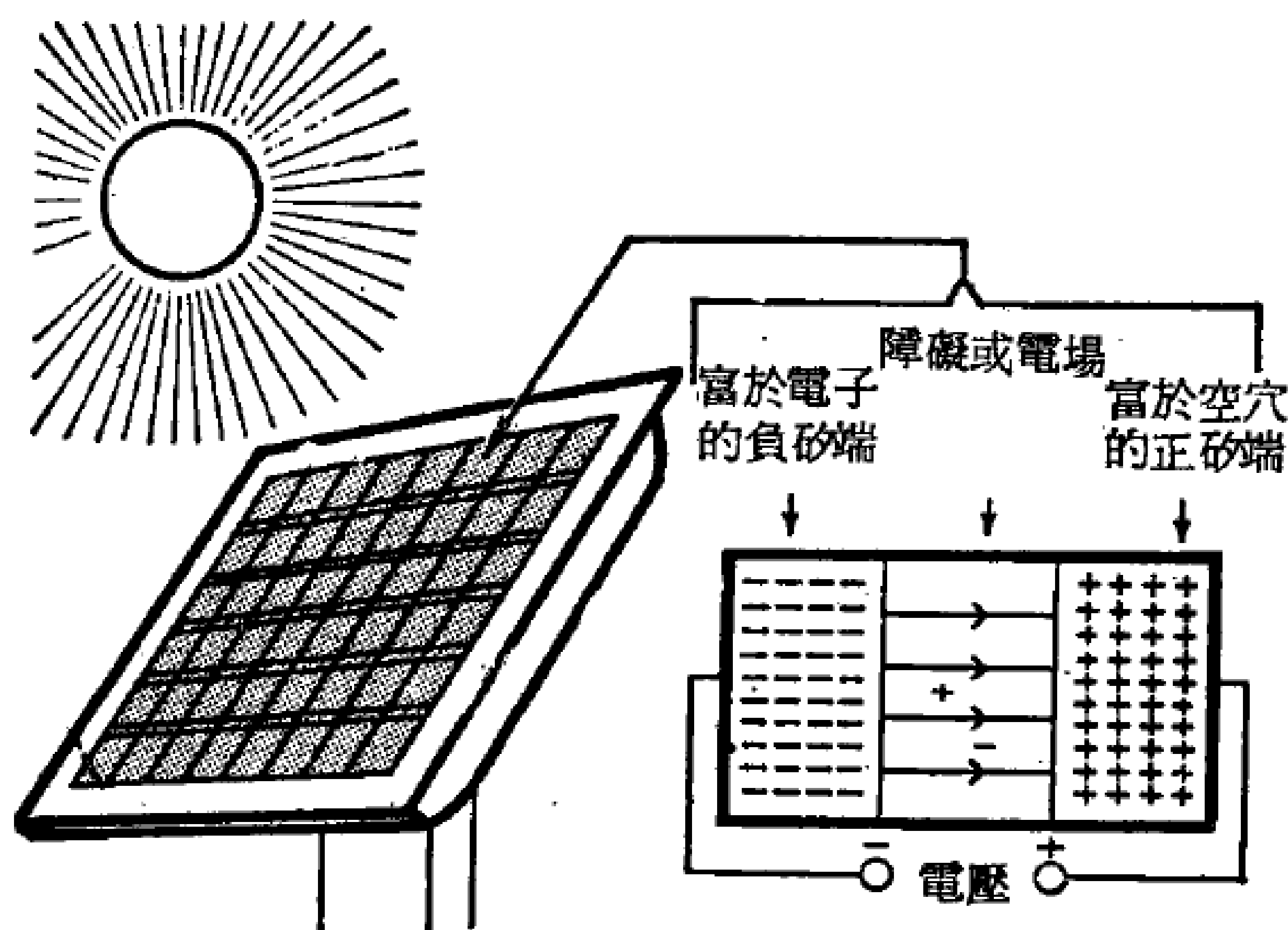


圖4—193　太陽電池與矽層的細部結構

太陽電池曝光時，像一具有一負極及正極之電池組，只要有一線路聯接，即可供應一電流。該電池又像一電池組，每個太陽電池可用一導線與另一側相聯。若此等導線集在一起，結果成爲一通路，使電子集合成電子流移至太陽電池之一側，而終於使正電荷抵達另一側。當然，如此之聯接實在是一種短路——而正常地卻不能做任何有效的利用。但若

同樣的導線在此電池組間聯接，則此種電流方可適當的運用，太陽電池經過此通路將產生操作設備之所需電流。

太陽電池產生之電流隨所照射的日光條件而得不同之量。一般言之，在地球表面的日光強度可得半伏特（ *volt*)之電壓，此電流之量即爲所產生的效能的基數。然致力於製做產生高效能的太陽電池，則製做複雜，且因此往往產生之電流較其他種更佳。每次製成的太陽電池，均依其效能百分數分等級。

而太陽電池，像電池組，亦可以任何方式聯接，往往直接焊在對光敏感的表面上，此即彷彿房屋瓦片之疊置方式，故一電池之背面（負側）疊在次一電池之上層邊緣（正側）。若干數目的電池依瓦片方式焊接，可決定將產生多少電壓。例如：五個太陽電池依瓦片式焊接，則在光亮陽光中將產生約2.5V（圖4—194、圖4—195)。

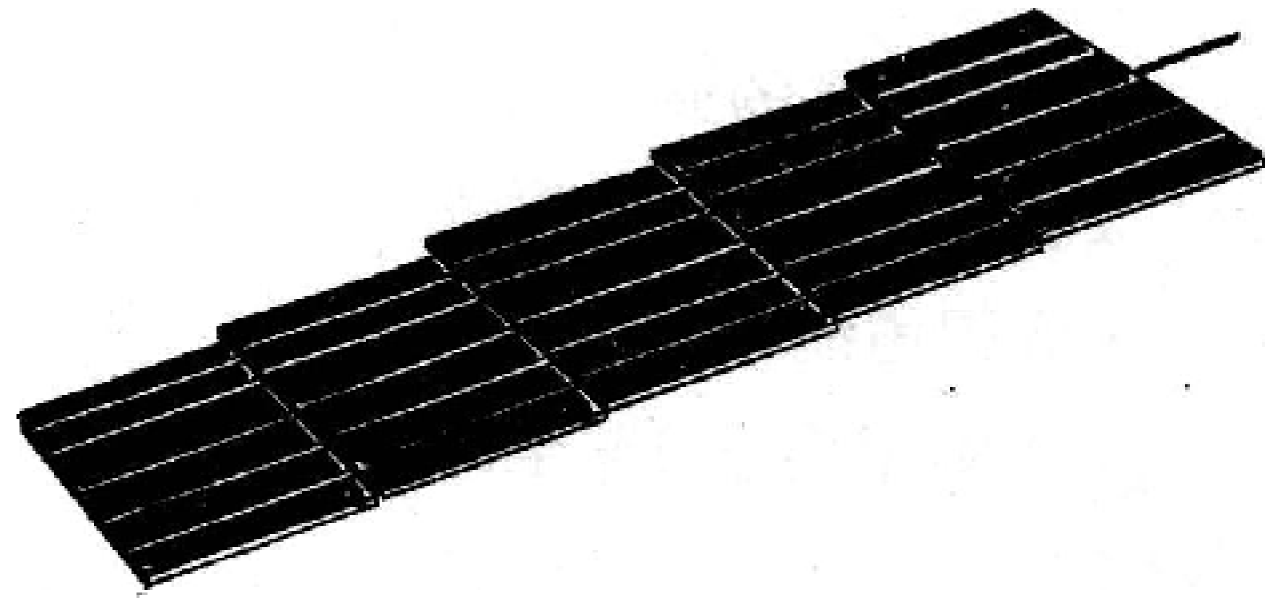


圖4—194
將一組電池依序做瓦片式焊接可得較高電壓，此電池每個約有0.5 V。此組合在全陽光中約產生2.5 V

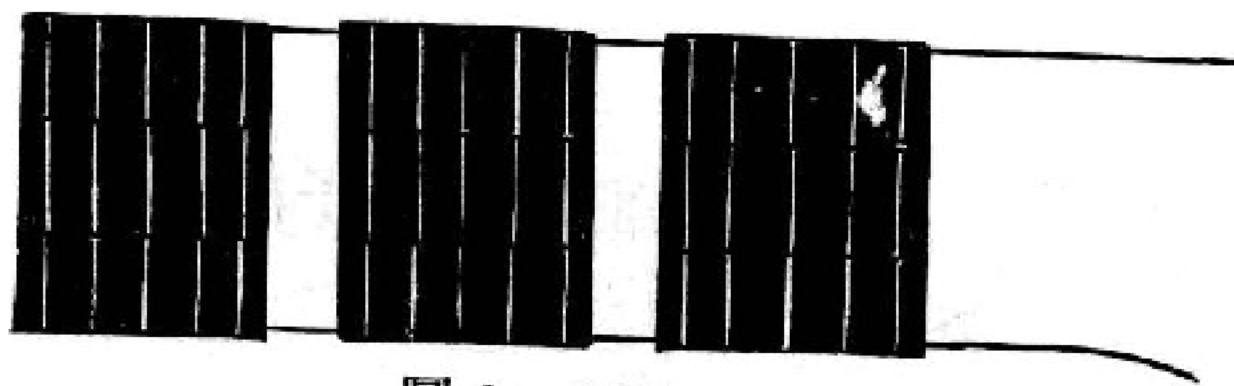


圖4—195
瓦片式組合可平行聯接在一起，以產生更大電力，此處每一組合供應1.5 V。

故任何特殊任務所需之電壓只須組合許多需要之電池排成一長序列或聚集許多電池成一組聯接的連續序列。

但不像普通電池，矽太陽電池不能在如此廣泛尺寸內有效。故在一盒中所需之電流將較一小組太陽電池所供應的更多，串聯太陽電池在一物系中成爲一平行組。因許多平行組成之電池增加電流，可剛好供應某一特殊設備所需之電流，若所用之電池組太少，而該設備所需者之電流

較此電池所能供應者爲多，於是，該電池之全電位差降落甚慢，則使設備之操作失靈。

製做太陽電池涉及非常小心的化學程序、仔細切割及磨光技術，以及錯綜複雜的電路工作。原來的基本原料十分充沛及且廉，但製成太陽電池之成品則必須耗費不貲始得完成。

太陽電池的優點：

1. 壽命長。

2. 有相當高的效率（約 10～14%）。

3. 較其他充電池有更多的功率提出。

4. 太陽電池能源來自太陽光的能量，可取之不盡。

5. 太陽電池十分安全，無熱、無氣、無放射性。它的原料是矽，徧地都有。

第一批太陽電池排列於"先鋒"衞星上射入太空，至今不過幾年，現在太空裏使用的太陽電池板已能發電千百瓦特。更大的太陽電池板正在設計中，能發電 30 瓩，用幾十萬小片超純度的矽製成。

【太陽磁場】(Magnetic field of the sun)

太陽因自轉使其本身成爲一個磁體。地球所以成爲一磁體，原因與此相同。

太陽磁場微弱，高出光球 200哩以上就不能測量。黑子磁場 (*field of sunspots*) 係因太陽上旋渦之氣體而形成，故每一黑子成爲磁場之中心。黑子磁場變化很大，不論其是否在太陽之南半球或北半球均同。

【太陽衞星】(Sun satellite)

即人造行星。

參閱"人造行星 (*Artificial planet*) "條。

【孔徑】(Aperture)

就本質言，任何能讓輻射或粒子通量穿過的孔口均稱爲孔徑。光學

和電子光學儀器中，孔徑有下列數種特定意義：

1. 角孔徑——對於位在光軸上的點物體，角孔徑是折射面對該物所張的最大半角，或光學儀器的入射瞳孔的半徑對軸間物點所張之角。

2. 透鏡的孔徑——即透鏡的直徑。

3. 數值孔徑——阿貝定義量 $n\ sin\theta$ 爲一透鏡的數值孔徑。式中 θ 是光軸上物體所看到的透鏡的角半徑，而 n 則爲物體與透鏡所在介質的相對折射率。

4. 相對孔徑（或 f 數）———光學系統的焦距 f 對入射瞳孔直徑 d 之比，即 f 數 $=\frac{f}{d}$，又稱爲焦比（*focal ratio*）。

5. 單向天線的孔徑——天線附近，垂直於極大輻射方向，且主要部分的輻射所通過的平面。

6. 電視孔徑——在傳達電視影像時，必須將它分割成許多非常小的面素。早期機械掃描方法是經由掃描螢光幕的孔徑而觀察影像。現代的設備裏，掃描工作不再是由機械方法處理，但孔徑一詞還是指影像傳遞時每一分割單元的大小。

7. 耦合孔徑——即波導或空腔共振器器壁上的孔口，乃設計以傳遞能量至（或自）一外電路。

【孔徑比】（**Aperture ratio**）

光學系統的入射光孔的直徑對焦距的比值，稱之爲孔徑比。

【孔徑失眞】（**Aperture distortion**）

由於電子掃瞄射束的大小，使電視信號產生失眞，其結果使影像欠清晰或減少鑑別度。

【孔徑光闌】（**Aperture stop**）

阻止物體的光線射入相對像件的屏障。

【孔徑角】（**Aperture angle**）

光學儀器中入射光孔對物體所張角的一半，稱之爲孔徑角。

【孔特管】(Kundt's tube)

這是量度聲音在各種氣體中傳播速度的裝置，此裝置是由孔特在1866年所設計，故稱爲孔特管。如圖4－196。

在玻璃管中散佈軟木屑，金屬棒R在其中點夾住，棒的一端有活塞D伸入玻璃管中，管之他端有活塞P，可移動其位置。使棒R縱向振動，通常用布塊撒以松香粉，包住棒的自由端，手握布塊及棒，縱向拉動摩擦，即使棒上生縱波，會使木屑跳動。同時調整活塞P，至軟木屑形成波節和波腹圖案，在波腹之處木屑堆集成分明之凸峯。此時玻璃管中的氣柱達到共振狀態，空氣振動頻率與棒的頻率相同。若知棒中縱波振動頻率ν，量取相鄰波腹（或波節）間的平均距離d，即可求得管內氣體中的聲速v爲

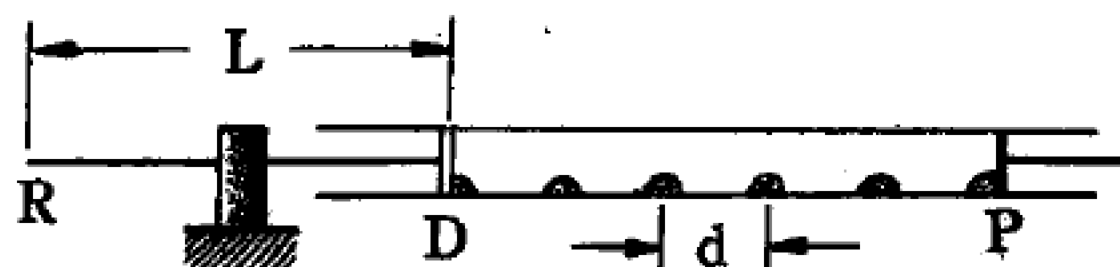


圖4－196

$$v = 2\nu d$$

【尤拉、拉格朗極端線方程式】(Euler-Lagrange equation of geodesic)

由一點x^α，將向量基素dx^α對本身方向平行位移至鄰近點$x^\alpha + dx^\alpha$，如是繼續平行位移則成爲極端線。

極端線爲瑞曼空間中的最短曲線，最短曲線的求法可以用變分法求得，即

$$\delta \int ds = 0$$

式中ds爲

$$ds=\sqrt{-g\mu\nu\, dx^\mu dx^\nu}=\sqrt{-g\mu\nu \frac{dx^\mu dx^\nu}{ds \cdot ds}} \cdot ds = L\,ds$$

由變分法可以得到尤拉、拉格朗方程式：

$$\frac{d}{ds}\frac{\partial L}{\partial\left(\frac{dx^{\mu}}{ds}\right)}-\frac{\partial L}{\partial x^{\mu}}=0$$

$$L=\sqrt{-g^{\mu\nu}(dx^{\mu}/ds)(dx^{\nu}/ds)}$$

由張量計算得此方程式爲

$$\frac{d^2x^{\alpha}}{ds^2}+\left\{{\alpha \atop \mu\nu}\right\}\frac{dx^{\mu}}{ds}\frac{dx^{\nu}}{ds}=0$$

$\left\{{\alpha \atop \mu\nu}\right\}$ 爲奎士托菲記號

$$\left\{{\alpha \atop \mu\nu}\right\}=\frac{1}{2}g^{\alpha\beta}\left[\frac{\partial g_{\beta\mu}}{\partial x^{\nu}}+\frac{\partial g_{\beta\nu}}{\partial x^{\nu}}-\frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x^{\beta}}\right]$$

【尤拉角】(Euler angle)

爲描述對應直角坐標系剛體旋轉之三變數。

【尤拉運動方程式】(Euler equation of motion)

在一羣質點組總角動量的時變率與外加轉矩(*torque*)的關係式，如果總角動量和轉矩都是對慣性坐標系內某一定點量的，則

$$\frac{d\vec{L}}{dt}=\vec{\tau} \qquad (1)$$

因剛體本身就是一羣質點組，因此(1)式也是討論剛體動力學的基本方程式。首先，考慮剛體繞主軸旋轉的情形，根據$\vec{L}=I\vec{\omega}$，又設主軸上有一點是固定不動的，則外加轉矩$\vec{\tau}$，也必是對這一點求的。這一來，(1)式就變成

$$\frac{d(I\vec{\omega})}{dt}=\vec{\tau}$$

又若轉動軸始終固定在剛體上(即與原主軸重合)，則I保持爲一常數，故

$$I\frac{d\vec{\omega}}{dt}=\vec{\tau}$$

或寫成

$$I\vec{\alpha}=\vec{\tau}$$

其中$\vec{\alpha}=\dfrac{d\vec{\omega}}{dt}$代表剛體的角加速度，只有在這個情況下，我們才看出剛體轉動與質點直線運動的相關性。即慣性矩I相當於質量m，角速度$\vec{\omega}$相當於線速度$\vec{v}$，角加速度$\vec{\alpha}$相當於線加速度$\vec{a}$，轉矩$\vec{\tau}$相當於力$\vec{F}$。

如果剛體的轉動軸上，沒有一點是固定在慣性坐標系內的話，則不能用（1）式。這時候角動量和轉矩應該對質心來求，即改用

$$\frac{d\vec{L}_c}{dt}=\vec{\tau}_c \qquad (2)$$

換言之，當轉動軸通過慣性坐標系內之一固定點時，我們要用轉動方程式（1）；而當轉動軸通過質心時，則用（2）式。

要注意的是，（1）式是相對於慣性系的轉動方程式，$\vec{\tau}$固然是對慣性系內定點量的，$\vec{L}$的時變率也是在慣性系內之觀察者所量到的數值。但是，爲使慣性矩保持常量，應多採用體坐標系，當剛體轉動時，它就不是一個慣性參考系統了。我們討論過的轉動坐標系和慣性坐標系的關係，以及無限小角度轉動的概念，角動量在兩系統內的時變率有如下的關係

$$\left(\frac{d\vec{L}}{dt}\right)_i=\left(\frac{d\vec{L}}{dt}\right)_b+\vec{\omega}\times\vec{L}$$

式中下指數i代表該時變率是在慣性系量得的，b代表該時變率是在體坐標系量得的；$\vec{\omega}$代表體坐標系的轉動角速度。又右式中的兩個$\vec{L}$都是在體坐標系內量得的。因此，在體坐標系內所觀察到的角動量$\vec{L}$的變化方程式爲

$$\frac{d\vec{L}}{dt}+\vec{\omega}\times\vec{L}=\vec{\tau}$$

寫成分量，則X軸上的分量方程式爲

$$\frac{dL_x}{dt}+\omega_y L_z-\omega_z L_y=\tau_x$$

如果所選擇的體坐標軸剛好是剛體的一組主軸，則我們知道沿各主軸的角動量等於主慣性矩和角速度分量的乘積，故上式變成（以ω_1代替ω_x等）

$$I_1\dot{\omega}_1-(I_2-I_3)\omega_2\omega_3=\tau_x$$

同理

$$I_2\dot{\omega}_2-(I_3-I_1)\omega_3\omega_1=\tau_y$$

$$I_3\dot{\omega}_3-(I_1-I_2)\omega_1\omega_2=\tau_z$$

這就是所謂的尤拉運動方程式，只要能注意到各式中的輪換關係，就可以牢記這組重要的剛體運動方程式了。在一般情形下，要解這組三元聯立微分方程式，並不是一件簡單的事。而且也沒有什麼必要。

【尤英磁論】（Ewing's theory of magnetism）

英人尤英改良吉伯（*Gilbert*）之磁性說。謂凡鐵、鎳等磁性體，無論其現帶磁與否，其分子皆各爲一小磁鐵，不帶磁時，其分子交互錯糅，無一定方向，故不現磁作用於外。一旦持此磁性體，置於磁場內，則各分子受磁場之作用，變易其位置，與磁場方向平行，而現磁作用稱爲交換效應（*exchange effect*），此時磁場愈強，則分子向磁場之性質愈增，而磁性體之磁化度愈大，然一旦磁鐵分子，盡取磁場方向平行整列以後，雖增加其磁場強度，而磁性體之磁化度不變。又磁性體一旦磁化後，雖自磁場取出，而既整列之分子，不能全行復歸原位，故仍多少存有磁。鋼之磁化甚難，然一旦磁化以後，亦不容易復原。

【巴比內原理】（Babinet's principle）

一繞射光柵的製造，是在一玻璃片（或其他透光板）上，刻以刻痕，使其受入射光的激發與鄰近部分不同而有繞射現象的產生。有時光柵是在不透明光屏上，刻劃出裂縫而造成的。當一入射光射進光屏時，光屏上的一部分電荷即被激發而產生二次輻射（*secondary radiation*）

，這個輻射就會和入射光產生干涉作用，而形成屏後的繞射圖樣。如果整個屏都是不透光的，表示屏上所發出的二次輻射總電場，剛好和入射光的電場等值而異號。因此屏後的淨電場爲零。如果是在一個很大的不透光屏上刻劃出幾個裂縫或小孔，而要從屏上各電荷所造成的二級輻射來算屏後的繞射強度譜線，顯然是不太可能的。幸虧我們有以下的一個簡單結論：

如果光屏上裂縫的寬度，比入射光之波長大得還相當多時，我們可以把光源都去掉，而在原來的裂縫處，安置適當的有效振盪電荷，即可在屏後遙遠的觀察點，得到與前類似的繞射強度圖樣。

爲證明這個結果，我們把一無限伸展的不透明光屏分成兩個區域，區域1和區域2。區域1的屏後來是要被除掉來構成一裂縫或小孔的；區域2則是屏的其餘部分。現在考慮屏後一個觀察點P在下面兩個情況下的輻射電場（見圖4—197）：

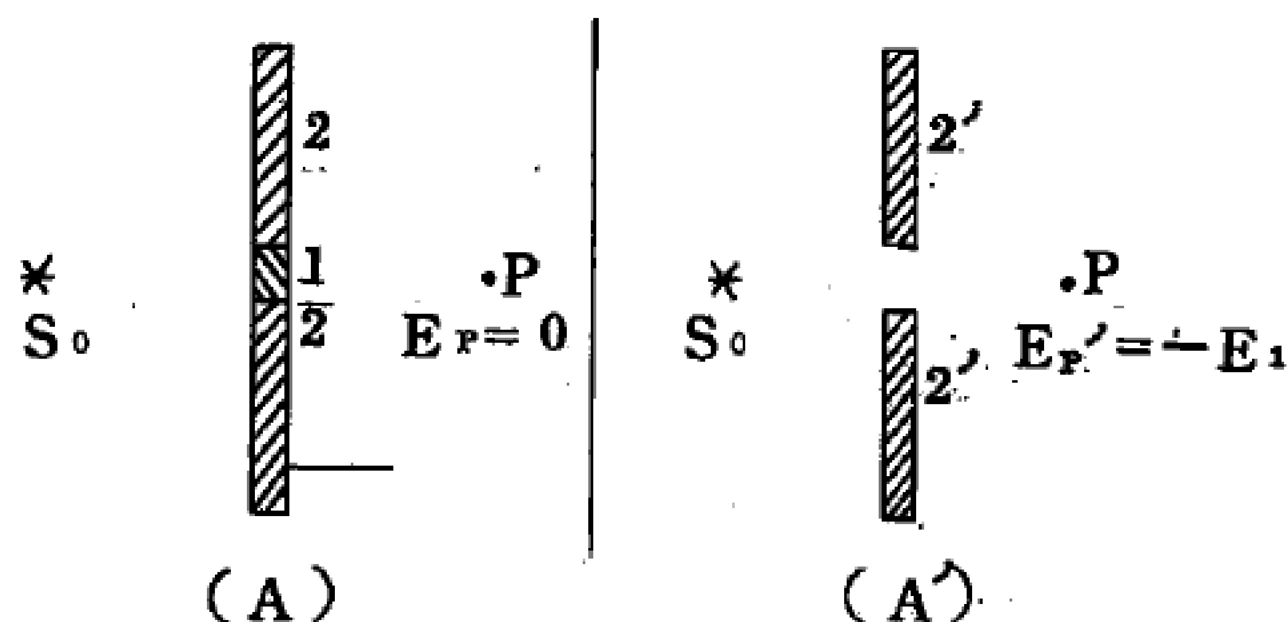


圖4—197　巴比內原理的證明

（A）：S_0 光源打開，整個光屏都安置好。這時候P點的電場等於零。這是S_0、區域1、區域2三光源（主光源和二次光源）所發出的電場疊加的結果：

$$\vec{E_P}=\vec{E_0}+\vec{E_1}+\vec{E_2}=0 \qquad (1)$$

（A'）：S_0 光源仍舊打開，區域1的屏拿掉而構成一個裂縫。這時候在P點的電場$\vec{E_P}'$變成S_0和區域2兩光源的電場疊合的結果：

$$\vec{E_P}'=\vec{E_0}+\vec{E_2}' \qquad (2)$$

注意這時候區域2內的電荷被驅使的情形和在A時的情況並不是完全一樣的。因爲它們在那個時候部分還受到區域1所發出的電場的影響。特

別是那些靠近區域1（在距其幾個波長的範圍內）的邊緣電荷。但是如果區域1有無數個波長那麼寬，則所移走的電荷大部分遠離邊緣。因此，我們可以忽略它們對區域2的輻射的影響。即令

$$\overrightarrow{E_2}' \approx \overrightarrow{E_2}$$

利用這個近似關係，（1）、（2）兩式比較的結果

$$\overrightarrow{E_P}' = \overrightarrow{E_0} + \overrightarrow{E_2} = -\overrightarrow{E_1}$$

因此，除了一個負號外，$\overrightarrow{E_P}'$約等於（A）情況下，區域1的光屏二次輻射的電場。這個關係式稱為巴比內原理。又根據上述，不透明光屏內的電荷所發出的二次輻射電場和光源直接在屏後的電場，等值異號。即光源的輻射在區域1之屏後，不受影響所生的電場為$\overrightarrow{E_{S1}} = -\overrightarrow{E_1}$。故$\overrightarrow{E_P}' \approx \overrightarrow{E_{S1}}$。

【巴好生效應】（Barkhausen effect）

在鐵或其他鐵磁物質的磁化過程中，當磁化的磁場逐漸增加或減小時，出現一連串極小的跳躍，巴好生於1919 年發現此現象。這種效應可以用下列方法觀察：將樣品周圍繞上磁化線圈，一次級線圈連接到靈敏的電流探測器上，例如示波器，或聲頻放大器。將磁化線圈的電流穩定地慢慢增加，次級線圈的電流會產生微小但是很尖銳的跳動。威廉（*Williams*）和夏克勒（*Shockley*）於1949年的實驗很明白的顯示，巴好生的不連續性乃是由於在外加磁場中，磁域邊界（布勞克壁）移動的不規則起伏。用單一磁域邊界的移動可產生非常明顯而連續的巴好生雜音。磁域是指鐵磁物質中所有磁雙極都平行排列的一羣羣小區域，每一區域有不同的磁化方向，當外加磁場逐漸增加時，磁化方向和磁場方向平行的磁域面積亦加大，與之方向相反的磁域縮小，這是微觀的磁化過程。交接的界線於是就有移動的現象，巴好生效應就是由於這種邊界移動時的突變而產生。

【巴耳麥公式】（Balmer formula）

氫原子僅由一個質子及一個電子所構成，爲各種元素中原子構造最簡單者。物理學家曾對氫原子就理論上及實驗上作極徹底的研究，並以之爲研究其他複雜原子的基礎。研究原子之結構，通常使用光譜分析法。任何元素的原子，如令其於氣態下發光，均隨元素的不同而發射或吸收某一特定波長的光波。賴分光儀（*spectroscope*）的協助，可以觀察到各種波長不同的明線，稱爲光譜線。

精密研究物質發射或吸收的光譜時，發現最突出的特色之一，是銳銳（*sharp*）光譜線的存在。發射或吸收的輻射頻率，隨原子的不同而改變，但對於同一原子吸收或發射的光譜都相同，每個原子即可利用光譜加以鑑定。因此對於原子的結構，原子與輻射交互作用的過程，光譜的研究提供最重要的資料。

1885 年瑞典物理學家巴耳麥（*Balmer*）發現，在氫原子光譜中，出現於可見光區的明線，其波長均有一定的關係。設光波之頻率爲 ν，波長爲 λ，則波長之倒數 $1/\lambda$ 爲單位長度中之波數（*wave number*）；巴耳麥發現氫原子光譜中可見光區之明線與其波數之關係爲：

$$\frac{1}{\lambda}=\bar{\nu}=R_H\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{n^2}\right)$$

$$n=2,3,4\cdots\cdots\infty$$

此式稱爲巴耳麥公式，式中之 R_H 稱爲芮得柏常數（*Rydberg's constant*），其值爲 $109,677.581\ cm^{-1}$。若在此公式中，依次令 n 爲 2，3，4，……則可得一系列之 $\bar{\nu}$ 值，此一系列之 $\bar{\nu}$ 值分別爲氫原子光譜中一系列明線之波數，此一系列明線稱爲巴耳麥系（*Balmer series*）。如令 $n=\infty$ 時，則巴耳麥公式中：

$$\frac{1}{\lambda_\infty}=\bar{\nu}_\infty=\frac{R_H}{2^2}=27,419.40\ cm^{-1}$$

此值爲此系列之極限值，稱爲巴耳麥系極限（*Balmer's limit*）。

【巴耳麥方程式】(Balmer equation)

在原子中，氫原子的構造最爲簡單，所以氫原子光譜也是構造最簡單的線狀光譜。氫原子光譜中譜線的線間距離與線的強度向光波波長較短的方向遞減。巴耳麥首先用數學公式表示這種關係：

$$\lambda = \frac{n_1^2}{n_1^2 - 4} G$$

這方程式稱爲巴耳麥方程式，式中 $n_1 = 3, 4, 5, \cdots$， G 爲常數，λ 爲某譜線的波長。目前所通用的方程式寫爲

$$\bar{\nu} = R_H\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n_1^2}\right)$$

式中的 $\bar{\nu}$ 爲某譜線的波數 (*wave number*)，R_H 爲芮得柏常數 (*Rydberg's constant*)，其值爲 109,677.581 cm^{-1}。

【巴耳麥系】(Balmer series)

氫原子在可見光譜中的一系列光譜線，可以數學式表示如下：

$$\bar{\nu} = R_H\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$$

$\bar{\nu}$ 爲波數，R_H 是氫的芮得柏常數 (109,677.581 cm^{-1})，n_2 爲 3，4，5…等整數。

【巴克納】(Charles Glover Barkla 1877—1944)

英國物理學家，出生於 1877 年六月七日，在利物浦和劍橋大學受教育。1902 年赴利物浦大學任教，1909 年任倫敦大學帝王學院惠斯頓 (*Wheatstone*) 物理講座教授，1913 年轉愛丁堡大學迄逝世時止。在利物浦大學時以 X 射線照射各種金屬，發現由金屬上發出的次級 X 射線的光譜與金屬的種類有密切關係，巴克納的成就爲莫色勒 (*Moseley*) 及色格班 (*Siegbahn*) 的研究奠下基礎。 1917 年獲諾貝爾物理學獎，1944 年十月二十三日逝於倫敦。

【巴洛定則】(Barlow's rules)

謂在一所予分子內的原子其體積正比於所構成原子的價數。

【巴班鍋】(Papin kettle)

液體在開口容器中沸騰時，液體內部所生蒸汽泡中之飽和壓力只能增高到某一界限；此一界限悉視大氣壓力而定。因液體所產生的蒸汽既已逸入大氣中，就無法再形成壓力施於液體表面；因此，僅有不變之大氣壓力始不斷地壓在這表面上。繼續輸入之任何熱量既不能提高溫度，也不能增高蒸汽之飽和壓力，此時由外界輸入之全部熱量，在整個沸騰過程中，僅能用來促成大規模的汽化作用。

另一方面，倘液體在封閉容器中被加熱時，由於新生蒸汽無法逸出容器，遂使液面上的壓力自然而然地連續增高，故與上述情形迥異。此時由外界輸入之熱量，全部均係用來使液體溫度繼續升高，而不令其進入沸騰之狀態。液體蒸汽之飽和壓力乃就此增高。於是在每一溫度之下，飽和蒸汽和液體均能保持動力平衡而不變。此項汽化作用將持續如此之久，直到液體在某一定溫度下全部汽化爲止。譬如就水在 200°*C* 時的此種情形而言，封閉容器中恰好仍爲飽和蒸汽，其壓力則大至 15.33 大氣壓。利用這種方法，可以將水加熱到遠超過其標準沸點以上之程度。

上述現象可以用來說明一種稱爲巴班鍋設備之作用(巴班 *D. Papin*，係法國物理學家)。這種鍋可以用螺釘將鍋蓋封緊，裹面盛裝了約爲半鍋之水，用火焰從下面加熱。所生蒸汽既不能逸出鍋外，遂增高液面上的壓力，鍋內乃無從發生沸騰作用。準此，水在巴班鍋中遂能被加熱到超過 100°*C* 而不沸騰。除此以外，又因爲鍋內只產生少量之蒸汽，僅需耗用很少熱量之緣故，所以從外界輸入之熱量幾乎都是供作鍋內所放置的水和食物升高溫度之用。另一方面，我們在760毫米之氣壓計讀數下只能將水加熱到 100°*C*，所以水在開口鍋中沸騰時，就會產生很多

的水氣，也就是要耗用可觀之熱量使水轉變成蒸汽。因此之故，巴班鍋用作烹飪工具，需時既少，費用又省，故現代家庭莫不樂於採用。至於在高山地區，則更不能不用巴班鍋。蓋在此種鍋中，水的溫度很容易達到 100°C 或 100°C以上而不受外界氣候之影響；若非應用此種設備，則水在該處之氣壓下沸騰時，由於沸點較低之關係，便不能將食物煮熟。在工業上巴班鍋更以密煮鍋之名爲衆周知；譬如利用此種設備，即能以高溫熱煮之方法從骨中提膠，從植物裏提出脂肪等。

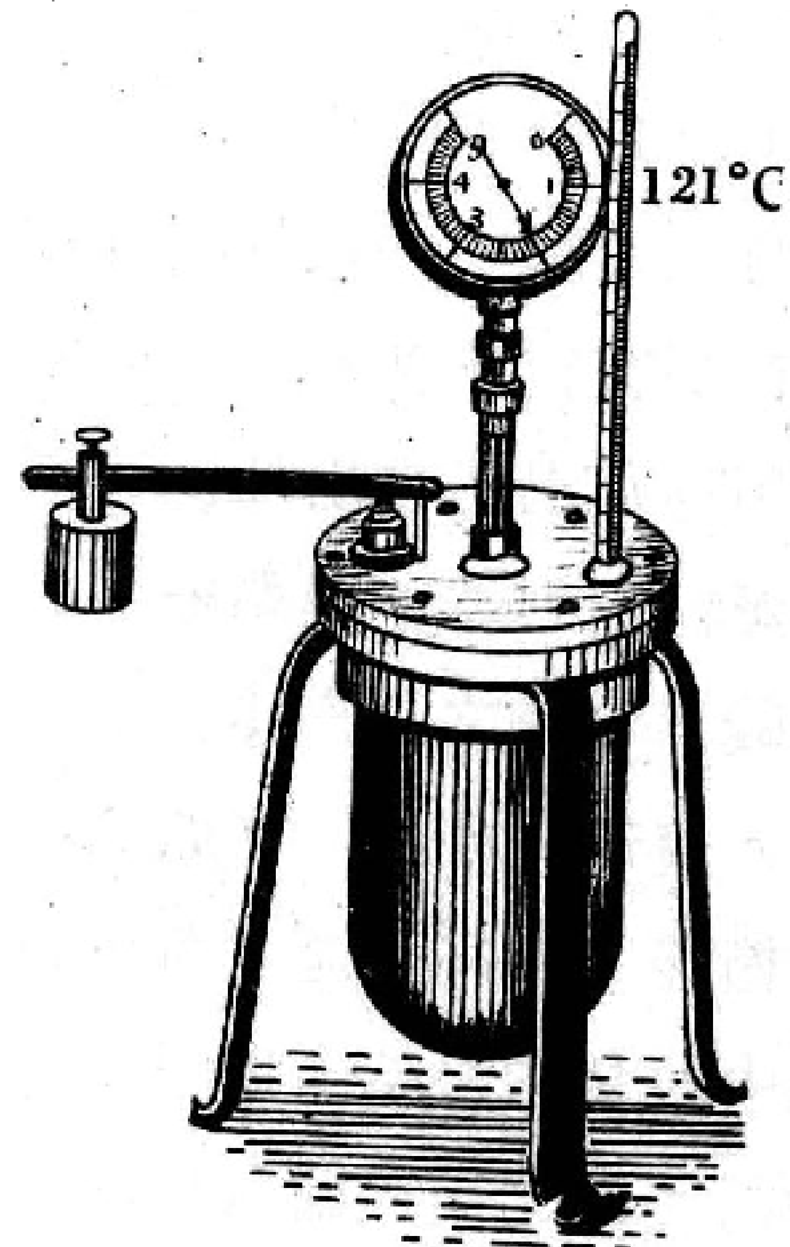


圖4—198
裝備氣壓計、溫度計及安全活門之巴班鍋

巴班鍋裝有氣壓計，用來指示鍋中之壓力。另在鍋蓋上固定一根下端封閉的金屬管，管中插入溫度計，用來指示鍋內之溫度。由圖 4—198可以看出氣壓計 121°C 時所指示之蒸汽壓力正好是 2 大氣壓。爲了防避蒸汽壓力升得過高時引起鍋壁炸裂起見，鍋上另外裝配了一種槓桿式安全活門；在原則方面是鍋蓋上有一開孔，另有一負了重量的槓桿將栓塞壓入孔中。一旦鍋內壓力超過最大的許可壓力時，則活門便會自動稍稍開啓，於是就有一股蒸汽嘶嘶噴出。進入此一階段以後，蒸汽即不斷地從有負荷之活門中逸出，鍋內之蒸汽壓力亦不再增大，水遂在此一不變壓力和高於 100°C 的溫度下沸騰。至於所需之汽化熱，則均由外側之火焰供應。能夠不斷供應高壓蒸汽開動蒸汽機之各式蒸汽鍋爐均爲此種情形。倘如突然舉高槓桿上的重量，使活門解除負重，並同時移去火焰時，則鍋內高於 100°C 之水便會曝露在大氣壓力之下。此時，熱源雖已撤除，但水卻開始猛烈沸騰；所需汽化熱乃係取自本身所儲存之熱量，水亦因而冷卻到它在大氣壓力下的沸點溫度，

也就是降低到 760 毫米氣壓計讀數下的 100°C 。

另外盧斯儲熱器之作用，即以上述現象爲依據，這是一種可以大至 400 立方米的貯藏器，用厚鐵板製成，槽中裝有約四分之三的水。倘將動力廠中一時無法運用之多餘蒸汽從原蒸汽鍋爐引入槽內水中，蒸汽遂自行凝結而使水加熱。又因爲是密閉式貯儲的關係，此種內部加熱之作用遂如巴班鍋由外側火焰加熱之情形一樣，不斷地增高水之溫度，槽內蒸汽壓力亦相應繼續增大；此項施於水面之壓力，乃使水之沸騰受到阻礙。貯槽之蒸汽壓力恆小於鍋爐本身之蒸汽壓力，乃爲顯而易見之現象。蓋若非如此，鍋爐裏的蒸汽便無法進入貯槽中了。蒸汽由鍋爐輸入貯槽後，即將所含熱量轉爲儲藏在水中，水的溫度乃愈來愈高。倘由貯槽中取用蒸汽時，則槽內之熱水便會因壓力降低而沸騰，並產生大量之蒸汽。故此項設備可以在突然需要最大量蒸汽的情形下，譬如在尖峯負荷時，供應所需之蒸汽，而毋需另從外界輸入熱量。由於所需汽化熱乃完全取自水中所儲熱量，水的溫度遂因此而降低。

【巴斯噶】(**Blaise Pascal** 1623—1662)

法國宗教哲學家、數學家及物理學家，現代對他的科學成就的名望超過他的宗教工作。巴斯噶在 1623 年六月十九日生於法國克勒芒斐龍 (*Clemont-Ferrand*) 地方，其父負教導之責，只教授應使巴斯噶知曉的題材，大多數是古代語言，絕不教他科學常識。巴斯噶十二歲時發現有幾何學，自行研習，頗有心得。十六歲時寫成"圓錐曲線之幾何" (*The Geometry of Conics*) 一書，竟受大數學家笛卡爾 (*Descartes*) 的賞識，該書現已失傳。其父終於允許巴斯噶繼續研讀物理學及數學，而有重大發現。

巴斯噶對液體壓力的研究最爲重要，巴斯噶原理謂密閉容器中液體對各方向施相同的壓力。此原理廣用於水壓機、水壓升降機、水壓千斤頂、眞空泵及空氣壓縮機等。在這些器械中，若流體一點的壓力增加，

則流體所有其他各點的壓力隨之增加。巴斯噶證明空氣有重量，打倒當時“大自然厭惡眞空”的說法。

巴斯噶與費瑪（*P. de Fermat*）發明機率，並討論應用在紙牌遊戲中。巴氏又發明計算機，現仍陳列於法國博物館中。1662年八月十九日逝於巴黎。

後人爲紀念巴氏對壓力的貢獻，將壓力單位命名爲巴斯噶，其值等於1牛頓/米^2。

【巴斯噶天平】（Pascal's scale）

見圖4—199這種天平的構造，與通常的略有不同，可使各種不同形狀的管子旋緊於一個架子上，另有一片薄板，作爲底蓋，由一根荷重的槓桿將其壓於管子的下緣。在這些具有活動底蓋的容器中，按照次序，將水注入。於是，在P點作用於槓桿的壓力，就是底面壓力，而不是注入之水的重量。當底蓋板向下讓開一些的瞬間，即有少許之水開始向外流出，此時，須立卽停止注水入內，並將再度恢復靜止之液面高度，用一個指針做成記號。我們可以觀察到，在所有的容器中，必須將水灌至同樣的高度，方能發生同樣的底面壓力，換句話說，只有這樣，方才能使對抗之重量，成爲平衡之重量。當注入更多之水時，底蓋卽將被壓向下，而多餘之水則將繼續流出，直至器內水面，重複回至指針之地位爲止。因此，在各容器內具有等高之液體以及相同之底面面積時，巴斯噶天平所顯示的乃是同樣大小的底面壓力，而與各容器之特殊形狀無關，這也就是我們必須期待的現象。雖然如此，這一實驗的全部過程，在我們眼前似乎是一樁怪事，因爲三種不同重量的水，

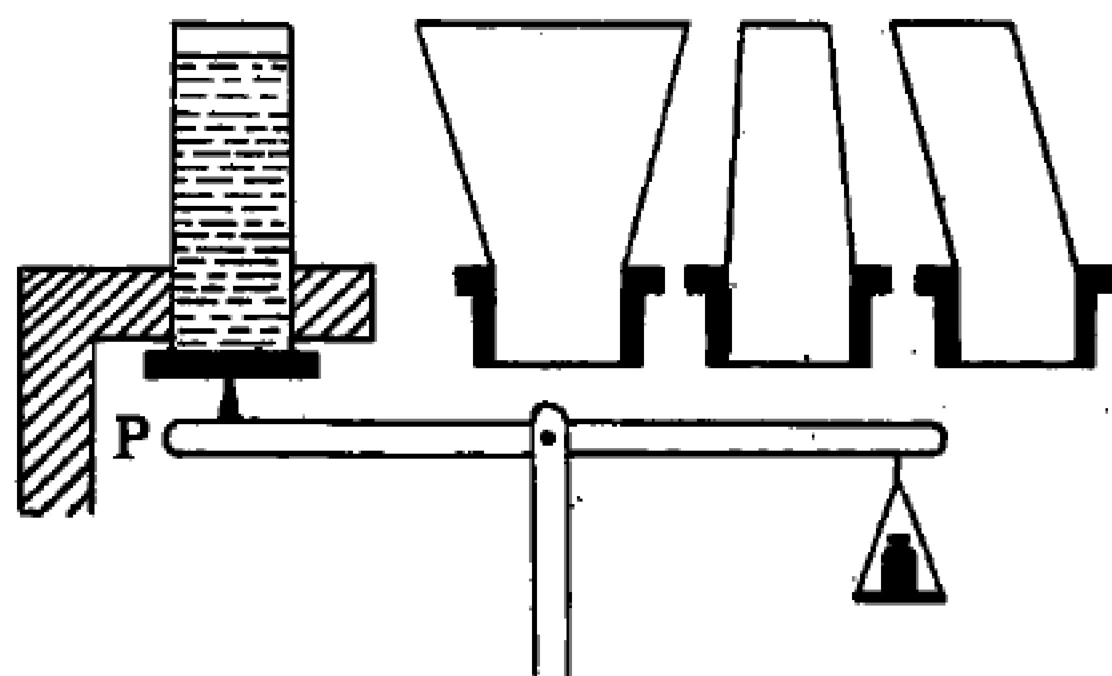


圖4—199　巴斯噶天平

產生了同樣的底面壓力。

【巴斯噶定律】(Pascal's law)

在液態中二點的壓力，決定於二點的高度差與液體密度。

【巴斯噶原理】(Pascal's principle)

密閉於容器內的靜止液體，某一部分受到壓力時，必向各方向傳達，並且傳至液體各部分的壓力強度不變。圖4—200示液體盛於裝有活塞的圓筒中，外壓力 p_0 可加於活塞上。在液體頂面下距離 h 處之任一點 P 的壓力 p 爲

$$p = p_0 + \rho g h$$

增加外壓力一任意量 Δp_0（與 p_0 相比不必爲小量），因液體不能壓縮，故在加壓過程中上式之密度 ρ 實爲一定。因此上式表示任意點 P 壓力的改變 Δp 等於 Δp_0。法國科學家巴斯噶 (*Pascal*) 陳述此結果，故稱之爲巴斯噶原理。

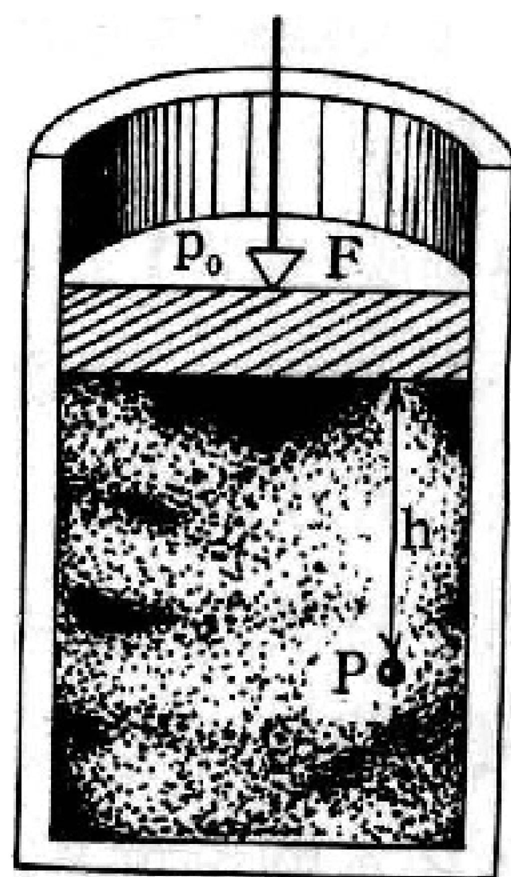


圖 4—200
流體盛於裝有可移動活塞的圓筒中。任一點P之壓力不僅由於P面以上的流體重量，且由於活塞所施之力而來。

通常假設液體不能壓縮，但事實上仍稍可壓縮。此稍可壓縮之性質乃導致壓力的傳播。施於液體某部之壓力的改變，在液體中以波向四方傳播，波速爲該液體中之聲速。一當騷動停止而達到平衡狀態時，巴斯噶原理即可運用。巴斯噶原理亦適用於氣體，只是解釋較爲複雜，因施於氣體的壓力改變時，產生甚大之體積改變。

【巴爾定】(John Bardeen 1908-)

美國物理學家，1908 年五月二十三日生於威斯康辛州麥廸生城，1936 年普林斯頓大學數學、物理學博士。1938至1941 年明尼蘇達大學助教授，1941 至 1945 年任美海軍兵器實驗所研究員，1945 至 1951 年貝爾實驗室研究員，1951 年起任伊利諾大學電機工程及物理

學教授，國家科學院院學士，巴爾定是電晶體（ *transistor* ）的發明人之一。與布勞頓（ *W. H. Brattain* ）及夏克勒（ *W. Shockley* ）三人因對半導體的研究及發現電晶體效應，同獲 1956 年諾貝爾物理學獎。現任教於伊利諾大學。又因對超導性理論的研究有貢獻，與古柏（ *Cooper* ）和施萊佛（ *Schrieffer* ）三人共獲 1972 年諾貝爾物理學獎，巴爾定是兩次獲諾貝爾獎的少數得獎人之一，但是兩次得諾貝爾物理學獎的第一人。

【巴爾福、史蒂瓦特電流】（ Balfour-Stewart currents ）

在地球表面以上之空間電流。因發現之科學家而得名。

【幻太陽】（ Magic sun ）

大氣中含多量水蒸氣或含多量的塵埃時，太陽多生異形，或重出，或呈銅色的現象，這叫做幻太陽。常在早上或薄暮的時候才顯現。

【幻眼管】（ Magic-eye indicator ）

又稱“魔眼管”爲最簡單的陰極射線管，也就是所謂的電子射線管（ *electron-ray indicator* ）。幻眼管是由普通的三極管，和陰極射線管所共同結合成的（見圖 4－201）。三極管方面的屏極，在管內與射線控制極（ *ray-control electrode* ）連接，所以當信號電壓加於屏極後，射線控制極的電壓與屏極完全一致，置於陰極與螢光幕（電子之靶）之間的射線控制極——金屬圓柱體，所以可使部分的陰極放射電子產

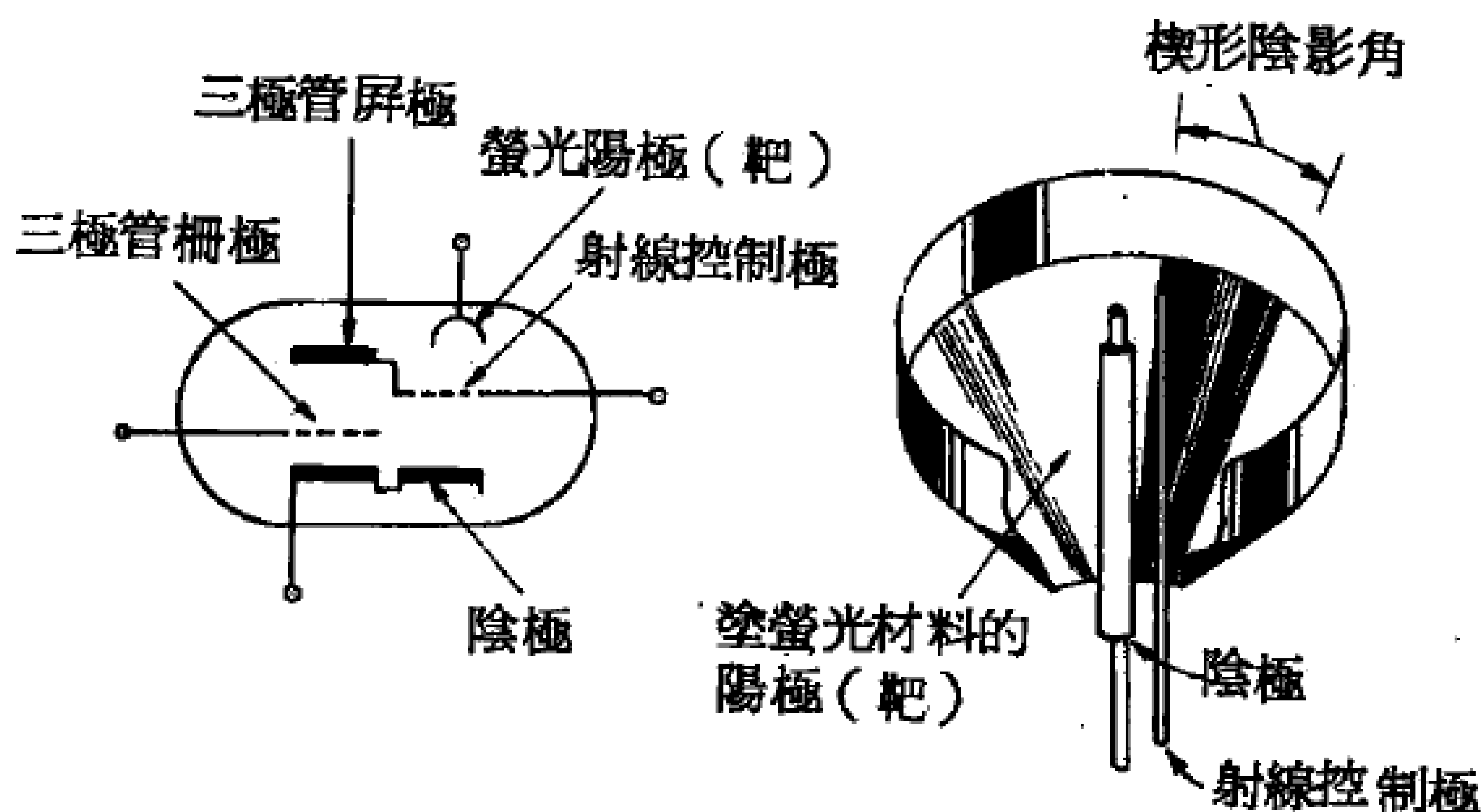
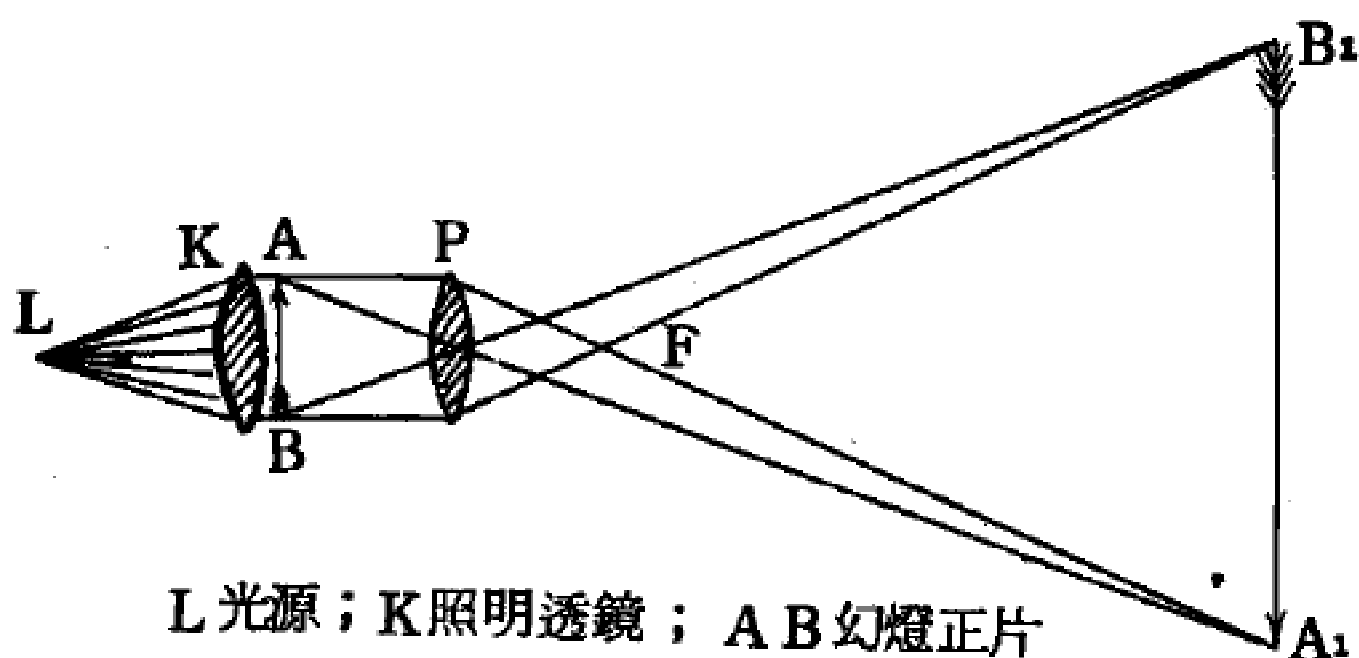


圖 4－201　幻眼管的構造及符號

生偏向現象。

所有射到螢光幕上的電子，均使螢光幕產生綠色螢光，但被射線控制極所遮擋方向的螢光幕部分，因被電子所打擊，仍維持原狀。螢光幕上，楔形陰影射線控制極遮擋的陰影部分的大小和角度，完全取決於射線控制極與陰極間的電場，換言之，即取決於外加信號電壓的大小。如射線控制極與螢光幕的電壓相同，則無螢光的陰影部分完全消失。如射線控制極的電壓低於螢光幕，陰影就會存在。楔形陰影的大小與射線控制極的電壓成正比，所以可用幻眼管量度某一電壓的大約值。幻眼管也可做收音機的調諧指示器（ *tuning indicator* ）及電橋電路（ *electrode bridge circuits* ）的平衡指示器（ *balance indicator* ）。

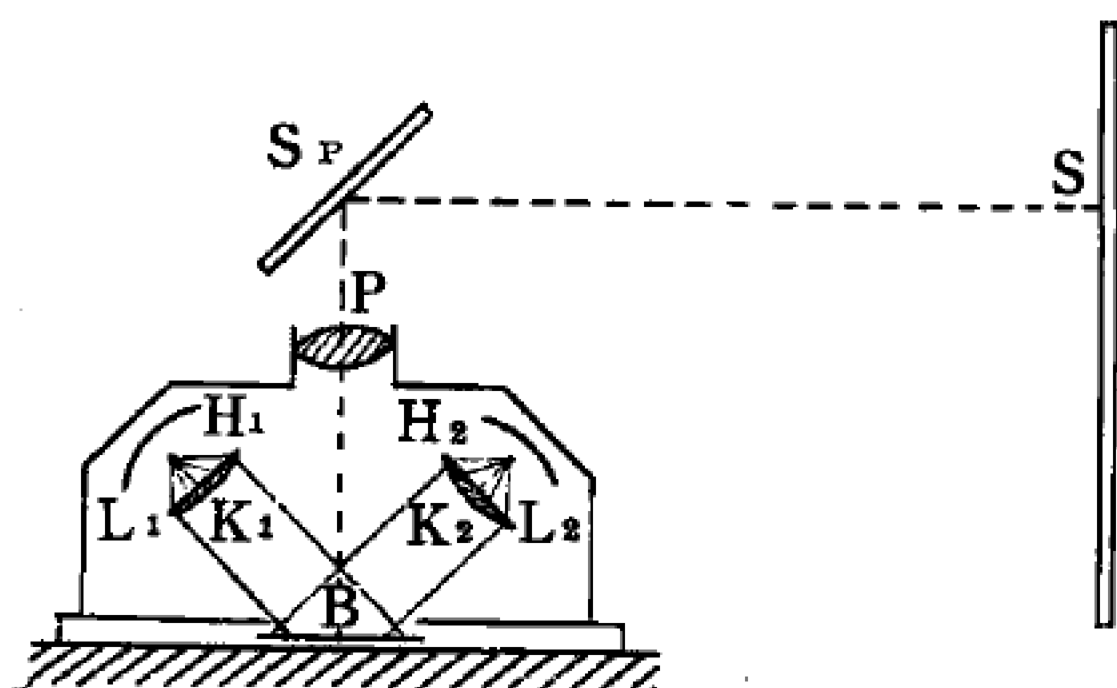


L光源；K照明透鏡；AB幻燈正片
B_1A_1 像；P放映透鏡；F焦點

圖 4 — 202　幻燈（投影器或映畫器）之光線行程

【幻燈】（**Projecting lantern**）

如圖 4—202所示，只要將光路逆轉，就可使照像機變成幻燈機。我們在照像機的毛玻璃地位上，放置一張自光源 L 經照明透鏡〔即聚光器（ *condenser* ）〕K 所照射的玻璃畫片 AB，又稱爲幻燈正片。會聚透鏡 P 由此玻璃畫片或膠片，將放大而倒置的像 B_1A_1 投在幕上。實際上會聚透鏡 P 也是由若干透鏡



L_1，L_2 光源；H_1，H_2 凹面鏡；S幕；B像片
K_1，K_2 照明透鏡；P投影頭；S_P 反光鏡

圖 4 — 203　映書器之光線行程

組合而成，俗稱映畫透鏡或幻燈鏡頭。

為使幕上映現正立之像，應將幻燈正片倒過來插入映畫器之內。

映畫器除了能映現透明的幻燈正片之外，又可藉斜置的反光鏡 S_P 的幫助，將由燈光 L_1 及 L_2 照明之像片 B，或書本上之一頁，造像於 S 幕之上（圖4—203）。燈光係經過凹面鏡 H_1 及 H_2 、透鏡 K_1 及 K_2，射在像片或書頁上。這麼一來，映畫器就變成映書器或反射映畫器了。

除了講演及授課之外，幻燈多在電影院中開演前作廣告及宣傳之用。

【引力子】（Graviton）

一種假想的粒子，是萬有引力場的量子，算是一種無質量的不帶電粒子，但迄今尚未被證實。

【引力常數】（Gravitational constant）

一固定之量，等於兩質點間之引力乘距離之平方除以兩質點之相乘積。引力常數通常以“G”，其值恆等於 6.67×10^{-8}（C.G.S.制）。

兩已知質量及已知距離間之力，可由下列公式計算而得：

$$G=\frac{Fd^2}{m_1m_2}$$

m_1 及 m_2 為已知兩質點之克數，d 為兩質點間距離之公分數，F 為兩質點間之力，其單位為達因，G 則為引力常數，恆等於上述之 6.67×10^{-8}。

求解兩質點間之引力時，上列公式可以改寫為：

$$F=\frac{Gm_1m_2}{d^2}$$

【引入線】（Lead-in）

從天線接至接收機輸入端的導線，實際是天線的延續，屬天線的一部分。

【引入線絕緣套】(Lead-in insulator)

天線的引入線加入絕緣套，可以避免從天線拾取的射頻電流借建築物傍路。

【引線】(Radial lead)

如固定電阻器或電容器之接線。

【引線電感】(Lead-in induction)

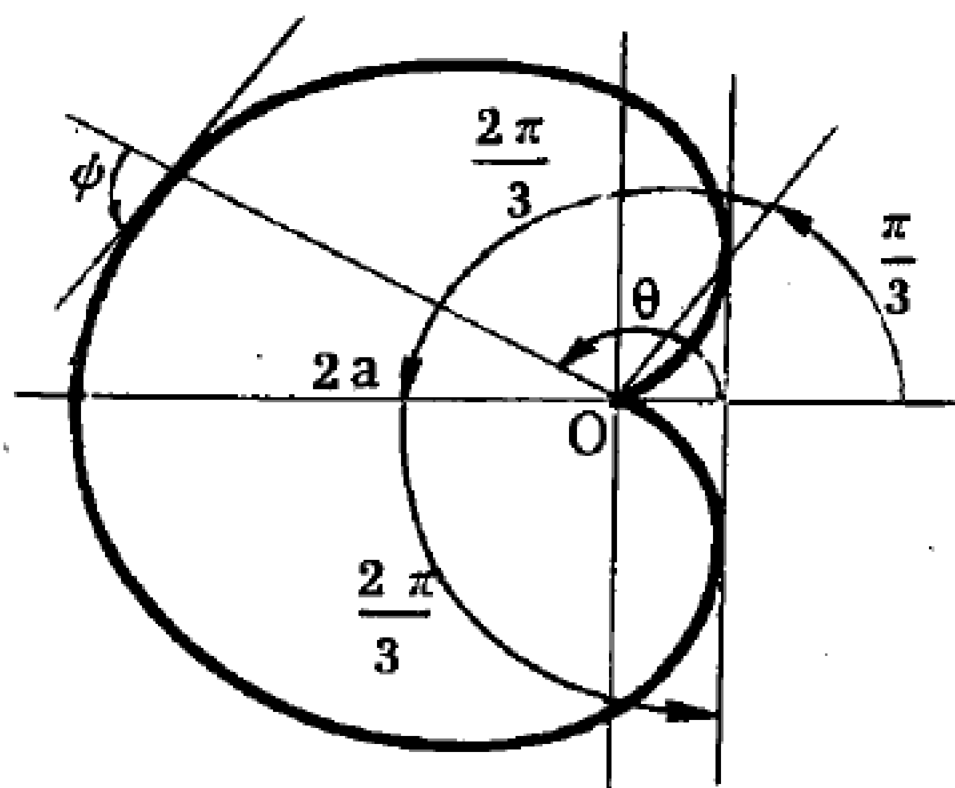
電子管各電極引線所具有的電感。在用於最高頻的電子管內，引線電感有著非常顯著的而通常是有害的作用。因此在最短波電子管內採取了專門的措施以減少引線電感，例如將引線作成寬帶的形狀，或管外部分作成圓環的形狀（在燈塔管內）。

【引導中心】(Guiding center)

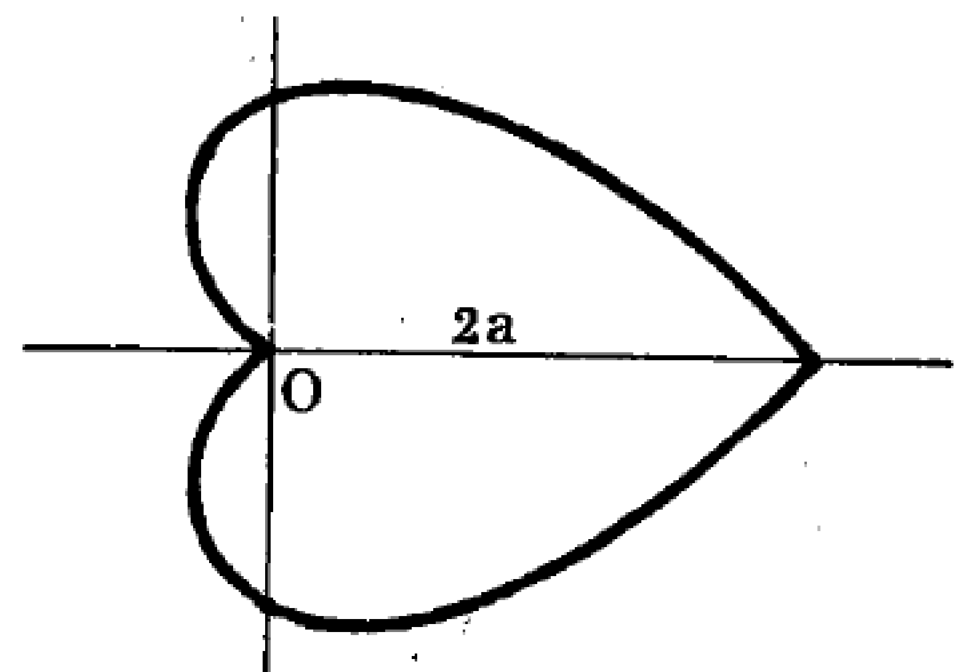
帶電粒子在磁場中廻旋時其拉莫軌道的中心點，常將粒子的運動分爲拉莫軌道運動加上引導中心的運動，在磁場中粒子的引導中心不變地沿著磁場運動，但有電場時，將使引導中心往垂直於磁場方向移動。

【心形線】(Cardioid)

數學式爲 $(x^2+y^2-2ax)^2=4a^2(x^2+y^2)$，以極坐標表之爲 $r=a(1\pm\cos\theta)$，如圖 4—204所示。而 $\phi=\frac{\theta}{2}$。



(a) r = a (1 − cosθ)



(b) r = a (1 + cos θ)

圖 4—204　心形線

【戈伯格、吹曼關係】(Goldberger-Trieman relation)

1958 年美人戈伯格和吹曼首先由色散關係導出派子的衰變率、弱交互作用中的費米常數及強交互作用中的派子核子耦合常數三者之間的關係。與實驗所得的派子衰變率約差 10%。

【手足計數器】(Hand and foot counter)

一種能迅速測量出從事放射材料工作人員之手和脚所沾染的輻射的偵測裝置。

【支殼層】(Subshell)

原子的電子，在已知的主量子數爲 n 的殼層內，具有相同角量子數 l 的電子，均在同一支殼層內。一支殼層所能容納的電子數目，最多爲 $2(2l+1)$。當一支殼層充滿電子時，所有電子的總角動量爲零。

【支點】(Point of support; Pivot)

依一定點，可以自由轉動的棒稱作槓桿；這一定點稱爲支點，施力的點叫施力點，該力作用於物體的點叫抗力點。(如圖 4—205 所示)

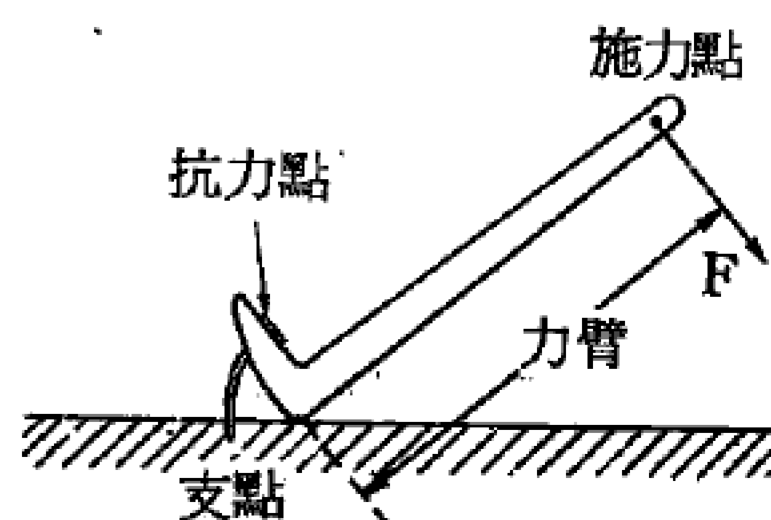


圖 4—205
支點、施力點、抗力點

【文士里流量計】(Venturimeter)

如果有一條水平的輸油管，我們要知道它的通量，就需要知道它的流速，文士里流量計就是根據白努利原理而設計的測速器。它的形狀如圖 4—206所示。二個垂直管內液體的高度差 h。

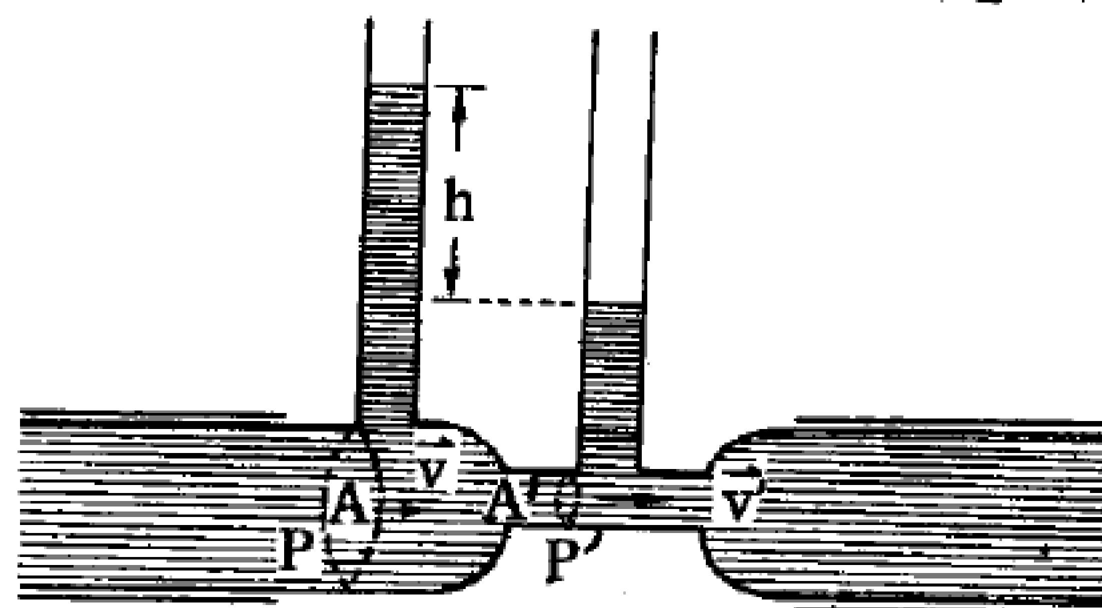


圖 4—206　文士里流量計

如圖，設接管的部分的橫截面面積爲 A，流速爲 v，壓力爲 P；在中間較細的部分，橫截面的面積爲 A'，流速 v'，壓力爲 P'，就 A 與 A' 兩處來說，其各

物理量必須滿足下列的方程式。

白努利方程式：

$$P+\frac{1}{2}\rho v^2=P'+\frac{1}{2}\rho v'^2 \qquad (1)$$

連續方程式：

$$Av=A'v' \qquad (2)$$

靜液壓力關係：

$$P-P'=\rho g h \qquad (3)$$

將上面的第（2）式與第（3）式代入第（1）式，得

$$\rho g h=\frac{1}{2}\rho v^2\left(\frac{A^2}{A'^2}-1\right)$$

或

$$v=\frac{A'}{\sqrt{A^2-A'^2}}\sqrt{2gh}$$

通常的設計，都使 $A'\ll A$，因此公式便更簡單成

$$v\approx\frac{A'}{A}\sqrt{2gh}$$

【文克布近似法】（W.K.B. approximation）

這是文側（*Wentzel*）、克拉馬（*Kramers*）及布里元（*Brillouin*）三人所倡之近似法，用以解薛丁格（*Schrödinger*）波動方程式。設波動方程式中，位能函數 $V(r)$ 的變化非常緩慢，在很小的範圍內，可視為不變，則薛丁格方程式的波函數為平面波形式。因此，W.K.B. 的方法是將函數寫成：

$$\psi=Ae^{iw(r,t)/\hbar}$$

代入薛丁格方程式

$$i\hbar\frac{\partial\psi}{\partial t}=-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\psi+V(r)\psi(r)$$

則得

$$\frac{\partial W}{\partial t}+\frac{1}{2\mu}(\nabla W)^2+V(r)-\frac{i\hbar}{2\mu}\nabla^2 W=0$$

此式可視爲古典力學中的漢彌頓、亞可比方程式，

$$\frac{\partial W}{\partial t}+\frac{1}{2\mu}p^2+V(r)=0$$

只要設$\hbar\rightarrow 0$，且$p=\nabla W$即可。這就是量子力學中的對應原理，即在$\hbar\rightarrow 0$時，量子力學和古典力學相當。設以$W=S(r)-Et$代入上式，則得

$$\frac{1}{2\mu}(\nabla S)^2-[E-V(r)]-\frac{i\hbar}{2\mu}\nabla^2 S=0 \qquad (1)$$

此時，將$S(r)$展開成$i\hbar$的級數形式，即

$S(r)=S_0+i\hbar S_1+$($i\hbar$的高次項)

代入(1)式，比較$\hbar$的係數，則得

$$S_0=\pm\hbar\int^r K(r')dr'$$

$$S_1=\frac{1}{2}i\,lnK(r)$$

$$K(r)=\frac{1}{\hbar}[2m(E-V(r)]^{1/2}$$

因此得波函數的形式爲

$$\varphi=AK^{-\frac{1}{2}}e^{\pm i\int^r K(r')dr'\pm i(E/\hbar)t} \qquad E>V(r)$$

$$\varphi=A\gamma^{-\frac{1}{2}}e^{\pm i\int^r\gamma(r')dr'\pm i(E/\hbar)t} \qquad E<V(r)$$

式中 $\gamma(r)=\{2m[V(r)-E]\}^{1/2}/\hbar$

【方位角】(Bearing angle)

磁針所指的方向，順時針與羅盤南北線所成的角度，由此角可定方

位。例如某點之方位角爲 90°，即知其方位爲正東， 180°爲正南，270°爲正西。

【方阱位】(Square well potential)

方阱位的普通形態是在一區間內其位爲零，在此區間外的位則爲固定正值，即

$$V(x)=\begin{cases}0 & x_1\leq x\leq x_2\\ V_0 & x<x_1,\ x>x_2\end{cases}$$

這種方阱位代入薛丁格方程式(*Schrödinger's equation*)則爲

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2}{dx^2}\psi(x)=E\psi(x) \qquad (在區間以內)$$

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2}{dx^2}\psi(x)+V(x)\psi(x)=E\psi(x) \qquad (在區間以外)$$

式中$V(x)=V_0$ 爲定值。此類薛丁格波動方程式爲最簡單者，而且許多波函數和能階狀態均從此式獲得，所以在實際應用方面非常廣泛，可以給予很多性質方面的資料。

上式中E爲總能量。由E與V_0 之間的大小關係會有各種不同形式的能階。圖 4—207(*a*)是一維無限方阱位的圖形，即$V_0\to\infty$。圖 4—207(*b*)陳示在此無限方阱位中，容許之最低三態的能量E_i 及波函數ψ_i 。

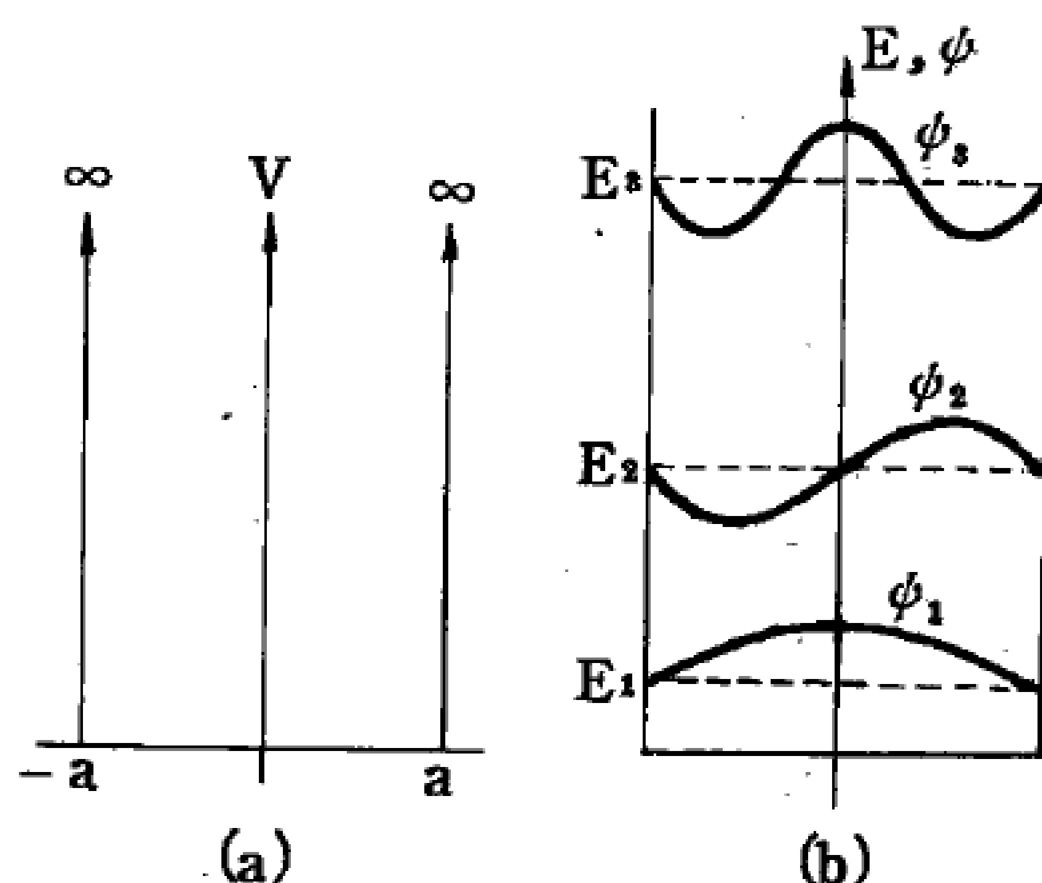


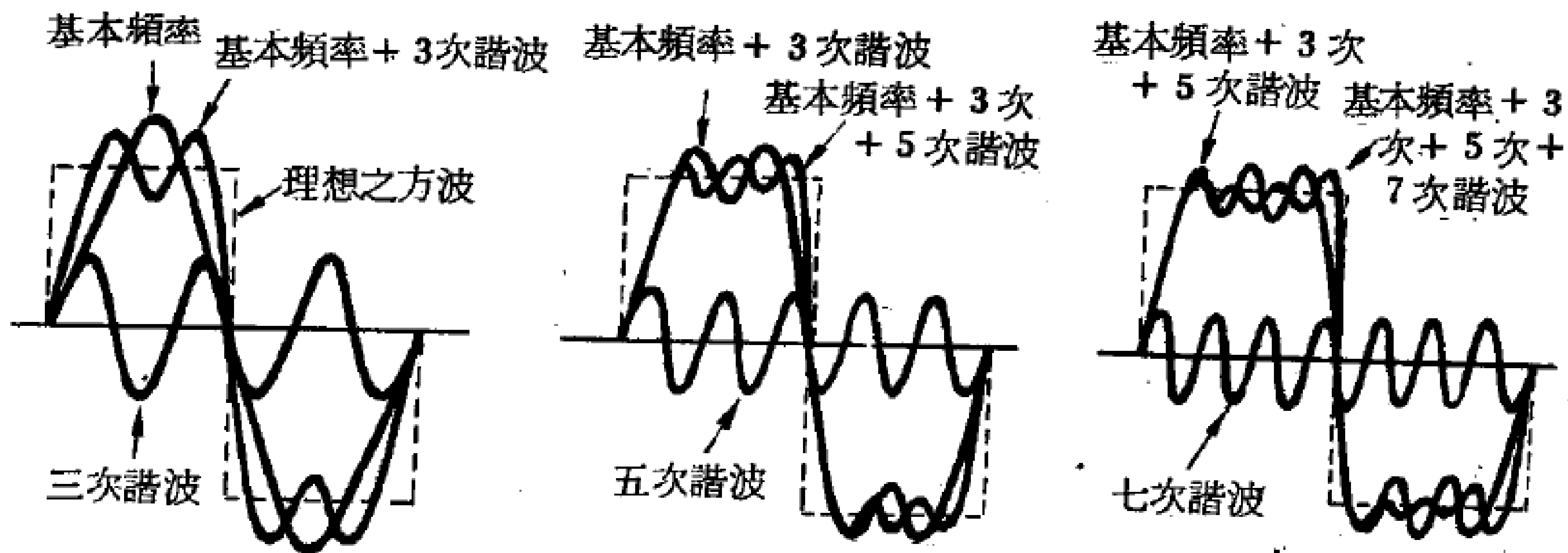
圖 4—207

【方波】(The square wave)

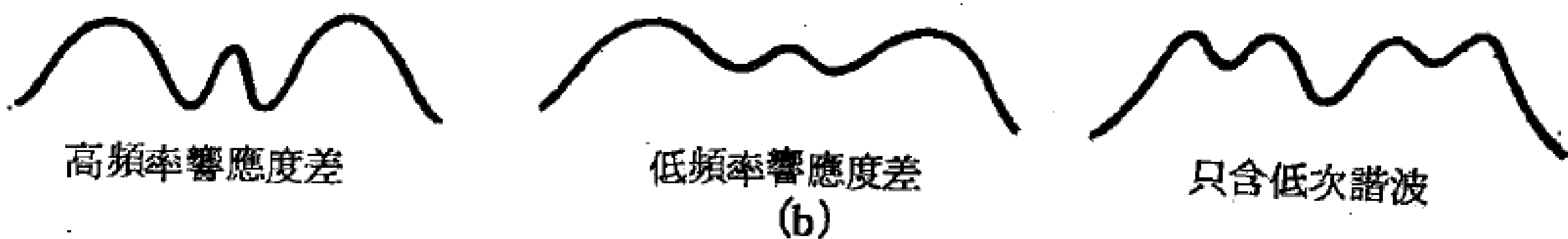
在方形脈衝內，波幅從零突然跳至最大，保持一段時間，到達方波之末端時，急劇下降至零。兩邊垂直之理想方波，即表示升高及降落之時間爲零。在此種理論上之方波內，只含有無窮數之奇次諧波，並無偶

次諧波；所謂無窮次諧波，其所需要之頻帶寬度亦為無窮大。所以在電子電路內，無法產生此理想之方波，實際使用之方波，通常只使用基本頻率及其低頻部分之九個奇次諧波（即3至19 次諧波），則所得波形已與理想之方波甚為接近。

不用無窮次諧波，而限制於有限次數諧波之結果，能使方波之兩邊傾斜，脈衝升高及降落將佔有若干時間，使用諧波次數愈多，兩邊之傾斜度愈陡峭，升降所佔之時間愈短。可從圖 4 — 208 (*a*) 比較得知之。



(a) 諧波次數愈增加，則方波愈接近理想方波



(b)

圖 4 — 208

在任何脈衝內，高次諧波對脈衝升降時間之影響大，而低次諧波則對脈衝之佔時影響大，如一電路對高頻之響應度差，則加長脈衝之升降時間，會使方波失眞，如一電路對低頻之響應度差，則又使方波之水平部分失眞，請再比較圖 4 — 208 (*b*)之三個波形。

【方框圖】（ Block diagram ）

一種簡化電路圖，圖中表示出設備中各個大的元件或部件，不繪出各單獨部件的電路及各個部件的聯接次序。

設備的各個單獨部件用圓圈或方框來表示，相互之間用線條聯接，以指出各個元件的關係。這些線條代表著一些單獨導線或許多導線的組合體。在表示各單獨部件的方框或圓圈內，註出字句，以說明該部件的作用或名稱。這些部件是一個大的裝置的個別部分，它常常被稱為方框，所以這種電路圖就叫做“ 方框圖 ”。

【方密爾】(Square mil)

一正方形的面積，各邊均為一密爾長度者 (一密爾等於千分之一吋) 。

【方解石】(Calcite)

方解石的化學成分，就跟灰白色的普通石灰石與同樣不透明的大理石一樣，都是碳酸鈣 ($CaCO_3$) 。其為特別巨大而且透明度良好的晶體，係於冰洲所發現。此種晶體係以重屈折晶石 (*doubly refracting crystals*) 之稱呼而聞名於世。

方解石的晶形係屬於單軸晶系；在此一晶系中，等長之三軸係在同一平面內以 60° 之角相交，而其第四軸之長度則與其他三軸不同，且與該三軸共有之平面互成垂直。因此，此一晶系雖然具有四軸，但其名稱則仍叫做單軸晶系。此晶體每面均為平行四邊形，其二角分別為 78°5′ 及 101°55′。方解石晶體有雙折射的特性，是尼可耳稜鏡的原料。光學上方解石被歸類為負向單軸晶體。如圖 4 — 209 所示，此一晶系之基本形狀乃是一個六面的對頂角錐，由此而發展成為一個所謂扁平的菱面體 (參閱圖 4 — 210) 。此一菱面體的形成經過如下：將對頂角錐中共有同一頂點但不共有同一

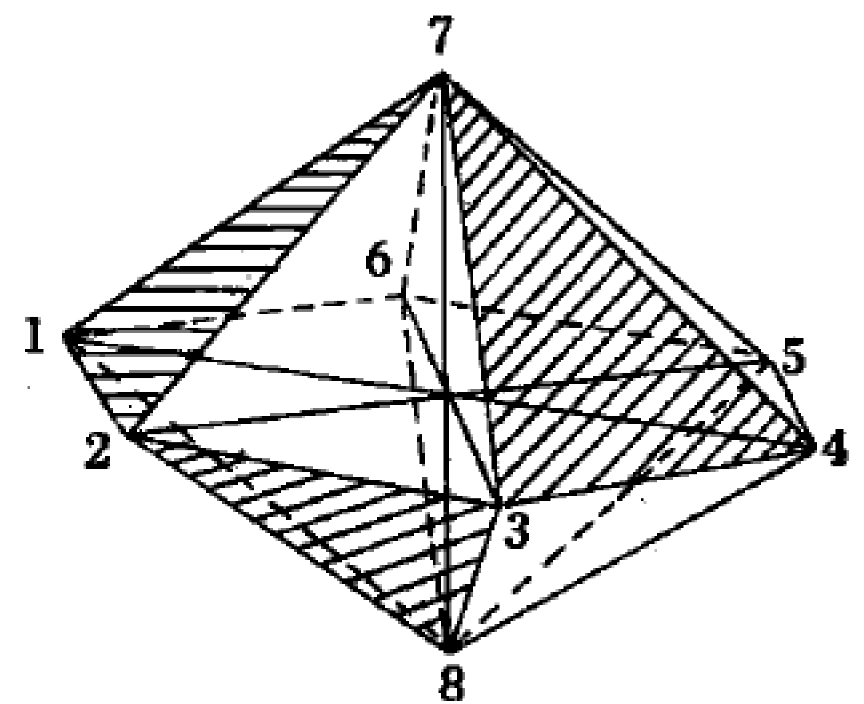


圖 4 — 209
六面的對頂角錐為單軸晶系的基本形狀，由此而發展成為所謂扁平的菱面體。

稜邊之六平面擴大（在圖4—209中，六個此種擴展平面內，只有三個是以陰影線繪出的），再將剩下的六平面去掉，即成一扁平之菱面體。

下列說明可使讀者更易領會：在圖4—209中，三根等長而以60°之角相交之軸為1—4，2—5，3—6。垂直於此三軸平面之第四軸為7—8。倘將圖4—210中之六平面1—2—7，3—4—7，5—6—7，2—3—8，4—5—8，1—6—8，予以擴展，而使位於上述各平面之間的六平面2—3—7，4—5—7，1—6—7，3—4—8，5—6—8，1—2—8歸於消失，則

圖4—209中之平面1—2—7，便會變成圖4—210中之平面*HEAD*
圖4—209中之平面3—4—7，便會變成圖4—210中之平面*EABF*
圖4—209中之平面2—3—8，便會變成圖4—210中之平面*CDAB*
圖4—209中之平面5—6—7，便會變成圖4—210中之平面*EFGH*
圖4—209中之平面4—5—8，便會變成圖4—210中之平面*CBFG*
圖4—209中之平面1—6—8，便會變成圖4—210中之平面*CDHG*

然而在自然界中能找得到的方解石晶體，並非都是像圖4—210中所示那樣有規則地由六個菱形範圍而成的，除非我們使晶體依其解理面裂開時運氣特別好，那自當別論。但對於礦物學家而言，不論有多少晶體面循著平行方向而推移，晶體本身並不會因此而受到影響的。在此種情形下，方解石菱面體四周的菱形，至多只會變成偏菱形而已，蓋方解石菱面體的主要而可以永遠保持不變的特徵，僅在其二接觸面間所形成之角度大小耳。該二接觸面，或是形成一個$105\frac{1}{2}^{\circ}$的鈍角

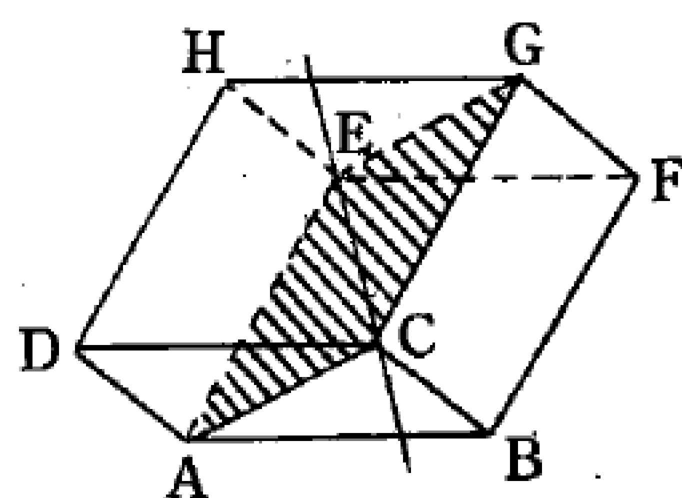


圖4—210
方解石菱面體EC＝晶體的光軸或主軸。EGCA＝晶體的主截面。

，例如$HDAE$與$AEFB$二平面，或是形成一個上述鈍角之補角$74\frac{1}{2}°$，例如$AEFB$與$FBCG$二平面，捨此別無可能。

上述菱面體中圖 4 — 210，有二頂點是三個平面匯集之處，並且都是以 102° 之鈍角相交者。該二頂點為E與C。我們倘經過E點或C點引一條直線，並使該直線與匯集該處之各邊形成相等之角度，結果便可獲知該晶體光軸或主軸之方向。於此，我們須加注意的是：所謂一晶體之光軸，指的並不是某一特定的軸線，而是某一特定的方向。因此，不論經過晶體的那一點，都是可以引一條平行於EC的光軸的。

就是圖 4 — 210中經過E點引繪出來的光軸，也只當我們特別幸運，剛好得到一個具有等長各邊EH、EF和EA 的方解石菱面體時，方能同時從對頂角C點通將過去。

每一含有光軸或與光軸平行的平面，均稱為主截面。因此，圖 4 — 210中之$EGCA$ 平面，或與其平行的任一平面，都算是主截面，由此可見晶體中的主截面很多，並不止一個。又該圖中之主截面$EGCA$ 與平面$ABCD$及$EFGH$乃是互成垂直的。

【方解石之雙折射】

對於方解石晶體的若干光學上的性質，可由下述實驗了解之：

【Ⅰ】

試將晶體置於繪有一條直線的紙面上，然後透過晶體循著垂直於紙面的方向觀察此一直線。此時我們所看到的，卻是兩條直線。只當我們將晶體如此轉動，直至紙上的直線剛好位於垂直豎立的主截面之時，我們所看到的才會是一條單一的直線；而在任何其他的位置，則一律是雙重的。又在直線和主截面剛好互成垂直的情形下，則雙重直線

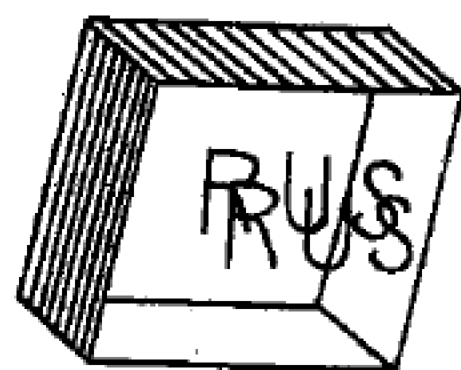


圖 4 — 211
通過方解石菱面體所看到的雙重字體

之間的距離亦最大。根據同樣的理由，通過方解石而加以觀察的字體，亦將成爲雙重的，如圖 4 — 211 所示。

【 II 】

設使一條來自照亮了的小孔中的光線 *a*（圖 4 — 212），垂直地投射在方解石的平面 *EFGH*，而且是落在主截面 *EGCA* 上的 *P* 點上，則根據司乃耳（*Snell*）折射定律，在此情形下是不會發生偏向的。事實上該光線 *a* 在晶體中乃循其延長線 *b* 而前進，換言之，即在主截面 *EGCA* 內循 *b* 之方向而前進（此主截面係與 *EFGH* 互成垂直），並於 *Q* 點離開平面 *ABCD*。可是除此以外，晶體內還會形成一第二路光線 *d*，後者並不遵守折射定律，而是依照著其本身之方式而折射及偏向。此光線係於 *R* 點順著平行於 *C* 的方向（即依照著 *e* 的方向）離開平面 *ABCD*。

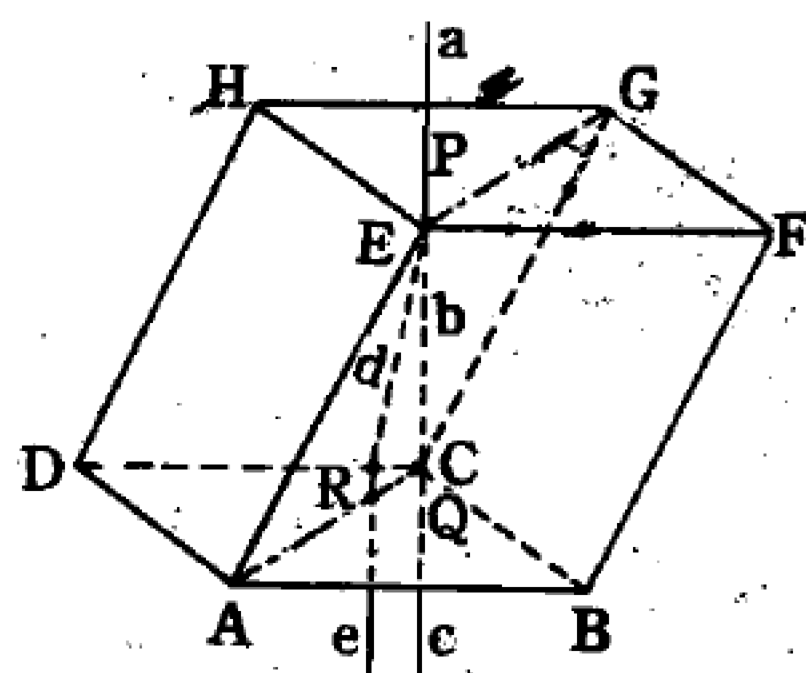


圖 4 — 212
光線 a 在方解石菱面體的主截面 EGCA 之內，分成二路前進之情形：一路是尋常光線 b，另一路是非常光線 d。

準此，原來之單一光線 *a* 乃在晶體內分成 *b* 與 *d* 二路分線。其中遵守折射定律之分線 *b*，稱爲尋常光線（*ordinary ray*），而另依照其本身方式而偏向之分線 *d*，則稱爲非常光線（*extraordinary ray*）。

當晶體轉動時，尋常光線 *b* 及其繼續前進之部分 *c*，仍可維持其原有位置而不變。至於非常光線 *d* 及其繼續前進之部分 *e*，則會繞著尋常光線 *b*（*c*）而作圓周運轉。

如同我們所假設的一樣，在此一實驗中，入射光線 *a* 係位於主截面之內，而尋常光線 *b*（*c*）以及非常光線 *d*（*e*），亦同樣位於主截面內。

我們擬將研究範圍，限於上述簡單情況之內，蓋入射光線 *a* 設不位於主截面之內，則非常光線將更進一步地違背折射定律，甚至於會偏離入射平面。（在上述實驗中，此一入射平面是由主截面來代表的。）

此種使光線分成尋常與非常二組之現象，稱爲雙折射（*double refraction*）。此一特性舉凡含有不等諸軸之晶體皆可具有，並不僅僅限於方解石方始如此。簡單說來，雙折射乃由光在此種晶體內視方向而轉移之傳播速度所致。例如在方解石內，光在光軸方向上之傳播速度，即與所有其他各方向上之傳播速度有所不同。

我們所選擇的入射光線剛好是位於主截面之內，倘若我們再使該光線循著光軸方向入射，則雙折射現象即會消失；在此情形下，我們遂可將此一實驗之結果述之如下：在方解石的光軸方向上，不可能有雙折射現象發生。

【方解石柵線間距】（**Calcite grating space**）

在方解石晶體格子內，*X*光繞射面之間的距離。

【日光能】（**Solar energy**）

由太陽中得到的能量，又名太陽能。

參閱“太陽能（*Solar energy*）”條。

【日光能抽水機】（**Solar water pump**）

多年來，在沙漠中利用太陽能抽水的可能性，一直是科學家與發明家，致力研究的目標之一。事實上，沙漠中有些地方，幾呎深的地下，就藏有水源。如果能設法，將地下水隨著我們的需要，任意地抽到地面上，則也可在沙漠裏生產五穀與瓜果了。若太陽能的利用僅只爲了這項抽水的目的，則我們使用的太陽能，就不須要經過貯存的手續。同樣，太陽是否全日照射大地的問題，也無關緊要。因爲，只要在有日光的時候，能夠把水抽上來，就已經對沙漠有莫大的助益。

美國有一位著名的科學家，布斯（*Vanevar Bush*）博士，曾創造了一種由空氣壓縮機與抽水機混合組成的日光能抽水機。這部機器的功用，可將太陽中的熱能，轉變成機械能，以推動抽水機作功。至於熱機部分，這架機器具備兩個直徑約 5 呎，高 15 呎的大水槽。這

兩個水槽內各盛水若干，並在底部用U形管連通。這整個系統的另一重要部分是由相當數量的黑盒形聚集器組成；盒中的空氣，則經由太陽光的照射而加熱。

抽水機作功時，水槽中貯藏的水可在兩槽間來回運動。如圖4—213所示，在A槽的水湧向B槽時，黑盒中的熱空氣就由活門進入A槽內。

當A槽中的水位下降至比B槽的水位甚低時，A槽內的另一活門啓開，並在A槽的空氣中噴灑冷水。此時，A槽空氣冷卻而收縮，造成水流的方向倒轉。B槽中倒流進A槽的水，能使A槽的空氣受到壓縮，一部分便壓入貯氣櫃中。這種往復過程繼續不斷進行時，在貯氣櫃中的壓縮空氣壓力逐漸增強，就可用來開動壓氣抽水機，抽取地下水進行灌溉。

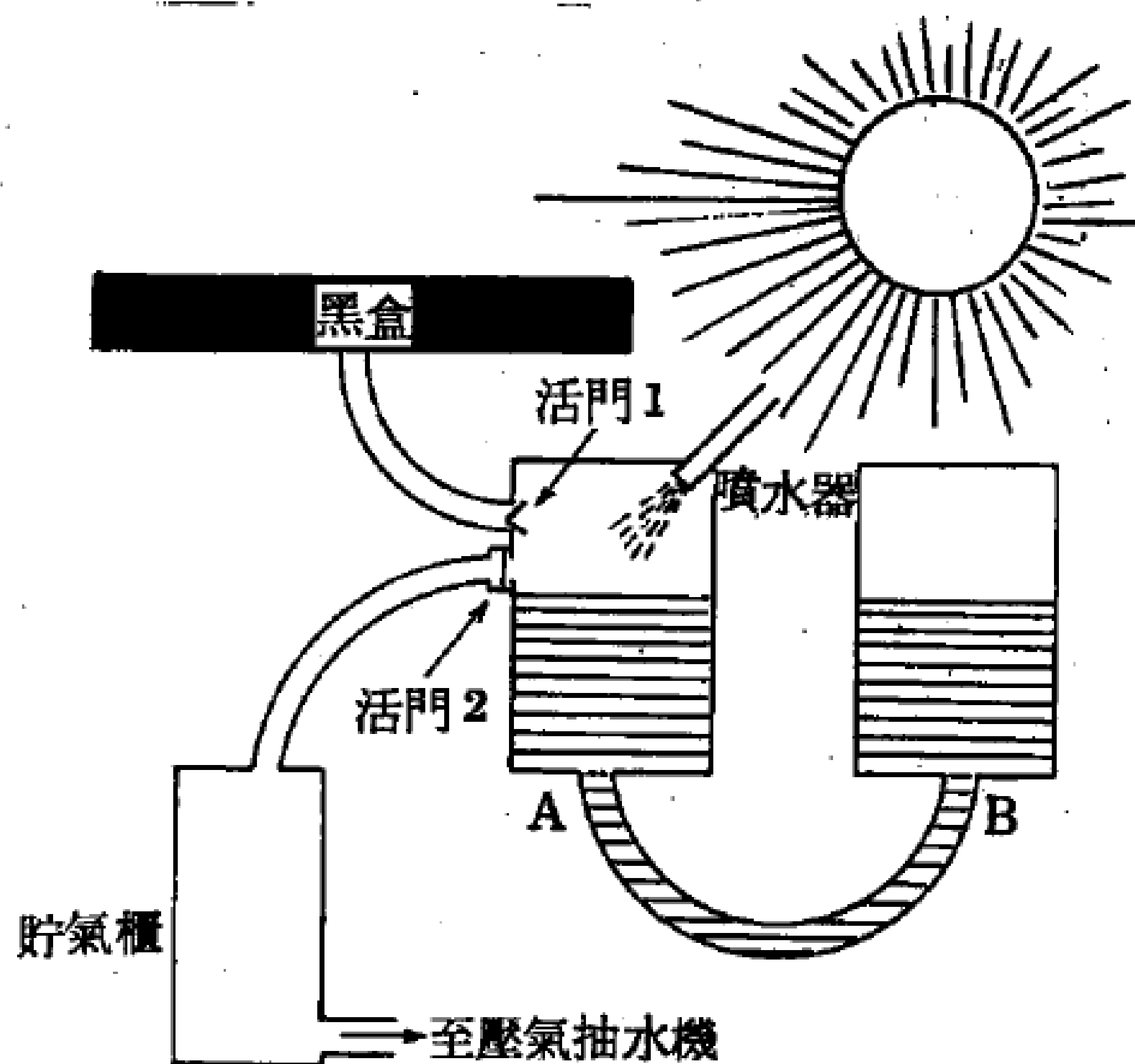


圖4—213　日光能抽水機

【日光能電池組】(Solar cell set)

太陽電池構成的裝置，可藉由太陽光產生電流。是以人工方式在兩邊分別塗上硼素及砷素的矽素夾層。這種夾層在接受太陽光照射時，即可產生電流。

參閱“太陽電池(*Solar cell*)”條。

【日周運動】(Daily period motion)

天體需費一天的工夫，繞地球上一固定點一周的運動。這是地球每天自轉一次，因而引起的目視運動。太陽、月球、星星都會有日周運動。

【日周運動的方向】

太陽、月球和星星等，一切的天體都由東方升起，而向西方墜落。這是地球由西向東自轉的緣故。

【日周運動的週期】

由於日周運動是因地球的自轉而引起的目視運動，所以天體日周運動的週期和地球對天體的自轉週期是一樣的。遙遠恆星的日周運動週期，是23時56分，亦叫做一個恆星日。太陽則是 24 小時繞地球一周，這叫一個太陽日。這是因地球有繞日公轉的關係。月球對地球的日周運動週期是24時55分。

【日面氣孔】(Pores on the sun)

太陽表面最小黑子之別稱，因狀如黑氣孔，故名。這些小黑子之橫截面寬僅數百哩。

【日閃】(Solar flares)

這是地電干擾的一種，與太陽能恆有密切關係。有時從地球大氣離子層得不到無線波的反射，相信由於在60～100 公里間離子密度的增加而被吸收。無線波之消滅有時在1分鐘以內完成，有時能繼續 10 分鐘至數小時，但一般是小於 10 分鐘。與磁暴(*magnetic storm*)不同，這些干擾僅發生在日照半球。這消失常伴有在太陽表面上光輝的色球爆發，並多成羣發生。能引起每日磁變動的增加，其成因認爲是從太陽爆發之紫外線的選擇吸收而來的離子化。

【日珥】(Prominence)

又稱紅焰，從彩層像火焰似的飛出來的氣體。高度約數萬到數十萬公里，形態則千變萬化。在分光儀中，見色球上有一細長黑色帶的網狀的壯麗結構。這些帶接近黑子處，有旋渦狀的纖細條紋組織。在太陽邊的細條紋的網狀上天空黑暗背境，顯現一個光亮奪目的日珥。在分光儀未發明以前日珥僅能在日全蝕時見之。

日珥有兩種，一種叫做寧靜日珥（*quiescent prominences*），和地球上的雲狀相似，可以繼續到數日。一種叫做爆發日珥（*eruptive prominences*），繼續數小時，以高速度而急激變化；普通速度爲每秒150公里以上，有時達到每秒300公里以上。寧靜日珥的光譜中，含有鈣、氦、氫等；爆發日珥則更含有鈉、鎂、鋇、鐵、鈦等元素。

日珥雖然出現於太陽邊緣的各部分，但以日面南北緯度45°和赤道之間居多。有時一個都沒有，有時可以達到30 個之多。平常沒有太陽黑子的時候，也看不見日珥；黑子多的時候，日珥也多，所以兩個有密切的關係，日珥或且就近黑子的前提。

日珥有時因太陽的加速度運動而減低，可能由於磁力或由於輻射壓之故而發生的，當其高升時，其亮度常減低。但有些日珥，在光球上升高達1,500,000 公里。當其光度下退則成爲不能見到的雲（游離的原子），無論何時出現日珥，地球磁場立受干擾，並發現極光。

日珥的速度並不比太陽的脫離速度低得很多，大約在每秒數公里至200 公里之間。

參閱“太陽（*Sun*）”條。

【日冕】（Corona）

即太陽的光圈從彩層向外擴散的淡薄氣體，溫度約爲100萬°*C*，顏色是眞珠色，在日全蝕時可看到。自1930 年發明觀測太陽光圈的儀器後，平時也能拍攝它的照片。

日冕的形狀大概有兩種：一個是和赤道平行而長伸，叫做赤道流線，一個叫做極流線，在極方面較短。它的形狀是隨黑子週期而變化；就是黑子極小期，赤道流線顯著發達，極大期則周圍略相等，這時候日冕的長，約和太陽直徑相等。日冕形狀又和日珥有關係，就是有日珥所在的部分，日冕則長，沒有的部分則短。

日冕的光譜爲薄弱的連續光譜，各處常有輝線，日冕光輝的總量，

大概爲滿月的一半。

【日暈】(Solar halo)

高空的大氣層有種希奇的現象，那便是“暈”和“華”，這種現象的發生，引起人們的興趣。

1790 年在彼德堡發生過一次複雜得驚人的“日暈”，那時太陽的周圍出現了一大一小兩個彩色光環；在外環的上下兩方都連接著明亮的半圓形光弧，另有一條白色光常橫貫太陽和兩個彩色光環，依著水平方向出現於天空。在這光帶和小的光環相交處有兩個“假日”，他們靠近太陽的一邊是紅色的，而背著太陽的那邊卻伸展著長而明亮的光尾。這樣形狀相同的三個光點在白色光帶上並列著，此外還有另一個小而明亮的光點，它位於小的彩色光環上，正當太陽的上方。

這樣複雜的奇景是很少見的，因爲這種光象在過去大多是個別發生的，並不常見光環、光帶、光弧會同時出現的。它便是“日暈”。

“日暈”是在太陽被半透明的卷層雲掩蔽的時候，才會在天空出現的。這種卷層雲通常高達 5 至 6 公里，是由微細的冰晶體組成的。

要形成明亮的暈，必須要有正常形狀的正六角形柱體的冰晶體，而且它們在雲中的排列，多少是一律的，這樣，光線通過冰晶體時，立即會生折射現象，而不致散射到其他方向去，這樣，在那些地方的天空顯得特別明亮，這時，在天空中就出現了美麗的光環——日暈。

這一個光環的半徑，大約是 22 度。由於光線通過冰晶體時分散成爲各種顏色的光線，所以環繞太陽的光環是彩色的，在光環最內層的顏色往往是紅色的。而外層卻是淡青色，在環以內的天空似乎比較暗些。

另外有一種暈的半徑視角等於 46 度，但很少看到。它是在空中的冰晶體雜亂無序時，光線在相互成了 90 度的冰晶體面間折射而成的。

【日蝕】(Solar eclipses)

指地球進入月球的本影中，太陽被遮蔽的情形。當太陽、月球和地

球在同一直線時便會發生。如圖4—214及圖4—215。月球每月與太陽會合一次；不過日蝕並不能每月看到。白道（月球的軌道）平面是對地球軌道有5°的傾斜，且月球與太陽間沿黃道的角距爲零，月球可能時而在黃道之上或時而在下，故其陰影不能落在地球上。如圖4—216。在位置 *a* 時，月球與太陽爲在合的位置，但在黃道面之上方；故其影落在地球上而無日蝕。在 *b* 和 *d* 位置時月球在黃道面內；太陽、月球和地球在一直線內；因而有日蝕。在位置 *c* 月球在合位置時在黃道的下面，其影落在地球上，可由圖上見出。蝕發生於約六個月的間隔內，當正月有一日蝕時，次一蝕常在七月中。

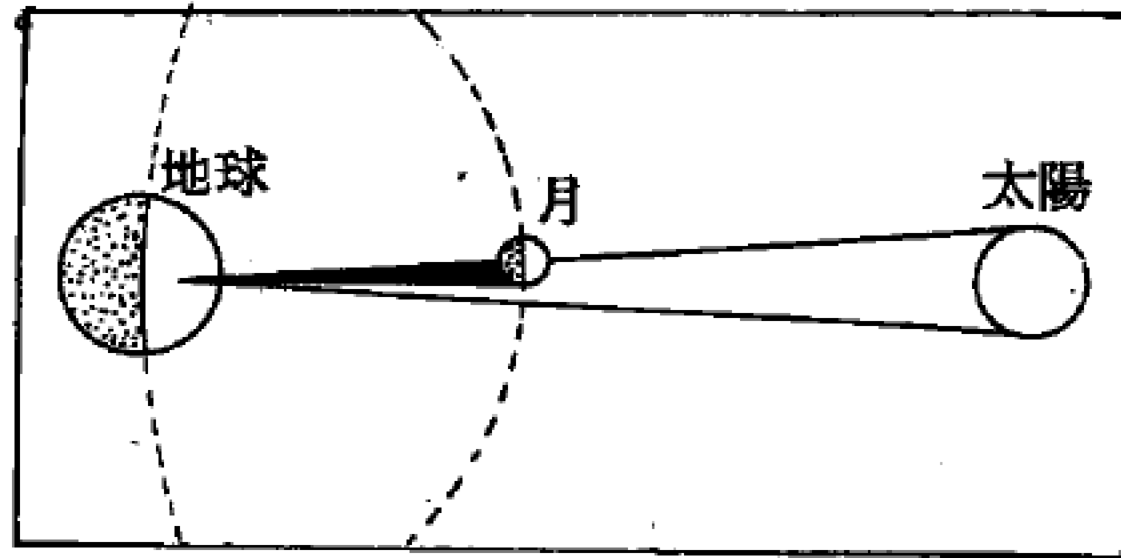


圖4—214　日蝕

假如白道面固定在空中，則蝕將在每年的同一月內。但太陽的吸引力能使白道發生一種盤旋的運動，即在18.6年內軌道面之垂線作

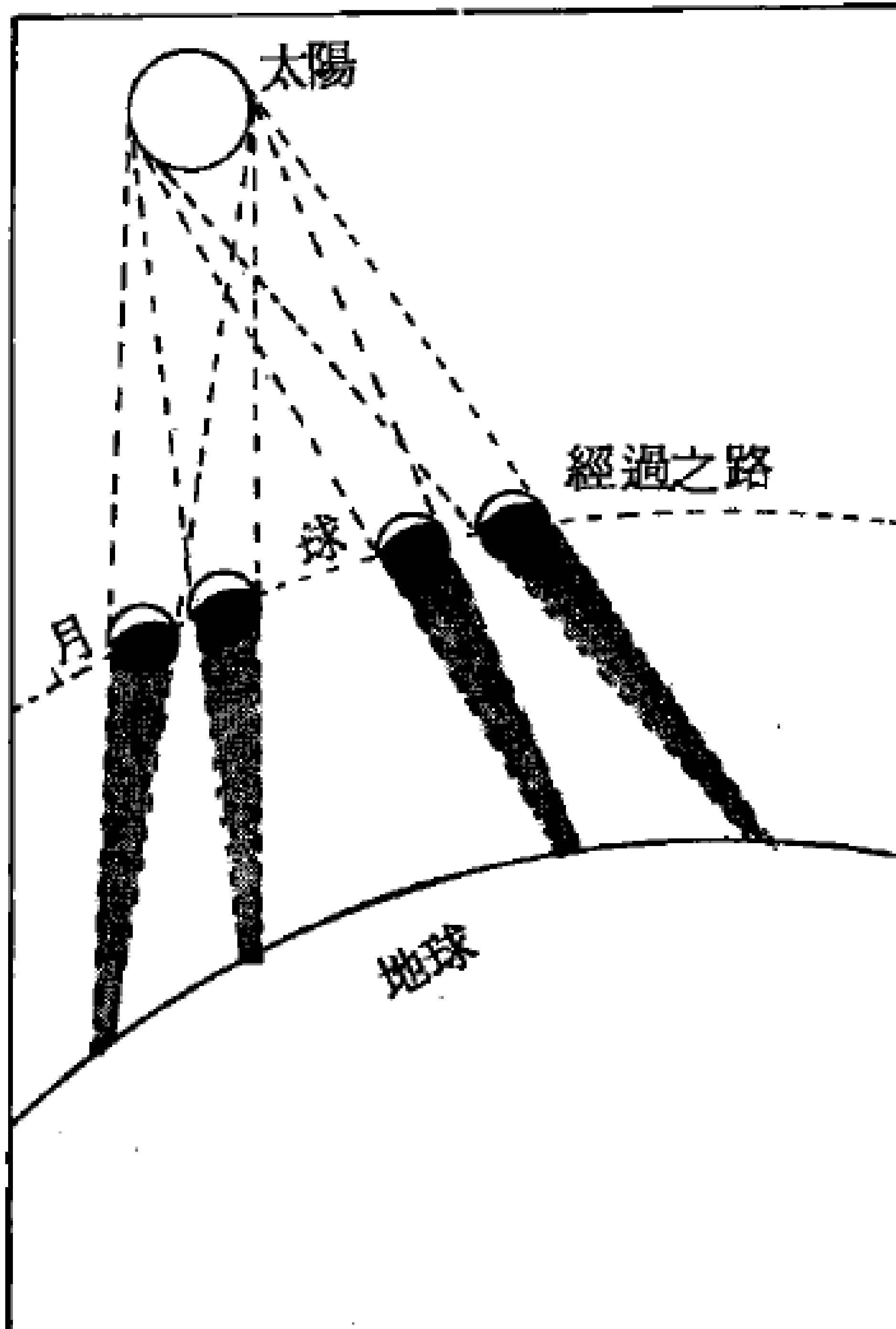


圖4—215 日蝕

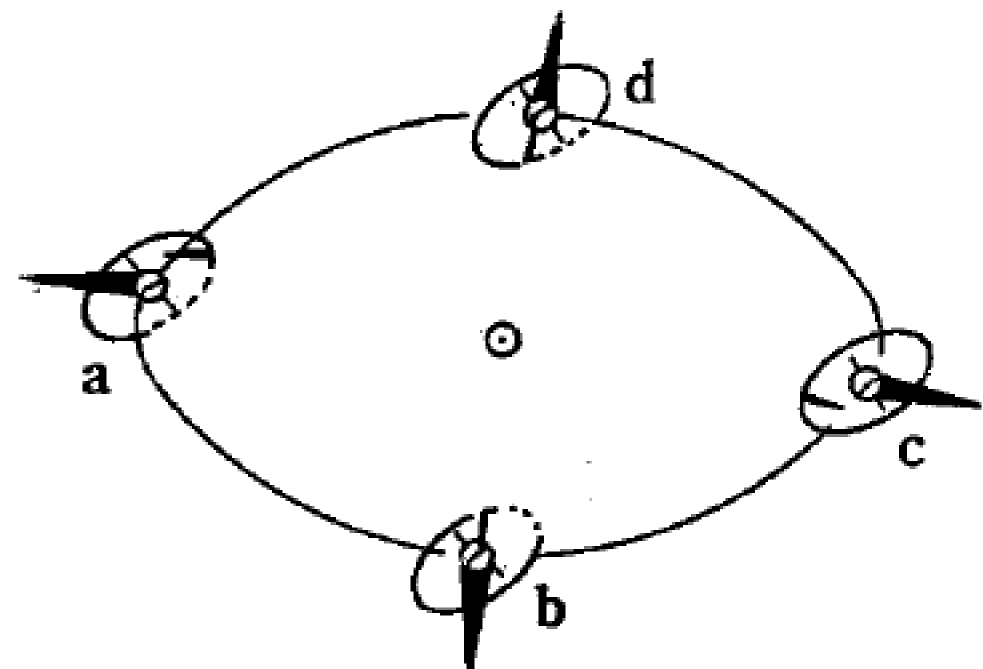


圖4—216　日蝕

一次圓錐運動。白道傾斜於黃道雖保持為 5°，但兩平面（白道與黃道）相交之點名為交點（*node*）則向西移動。這現象即所謂白道交點的後退，與地軸的歲差現象相似。其結果為 20 年以上間隔時可能在一年中的任何一月發生蝕，若在圖 4 — 216內連接太陽，月球和地球直線的方向為使蝕發生在正月和七月內，則一年後的蝕可能在十二月和六月內發生。

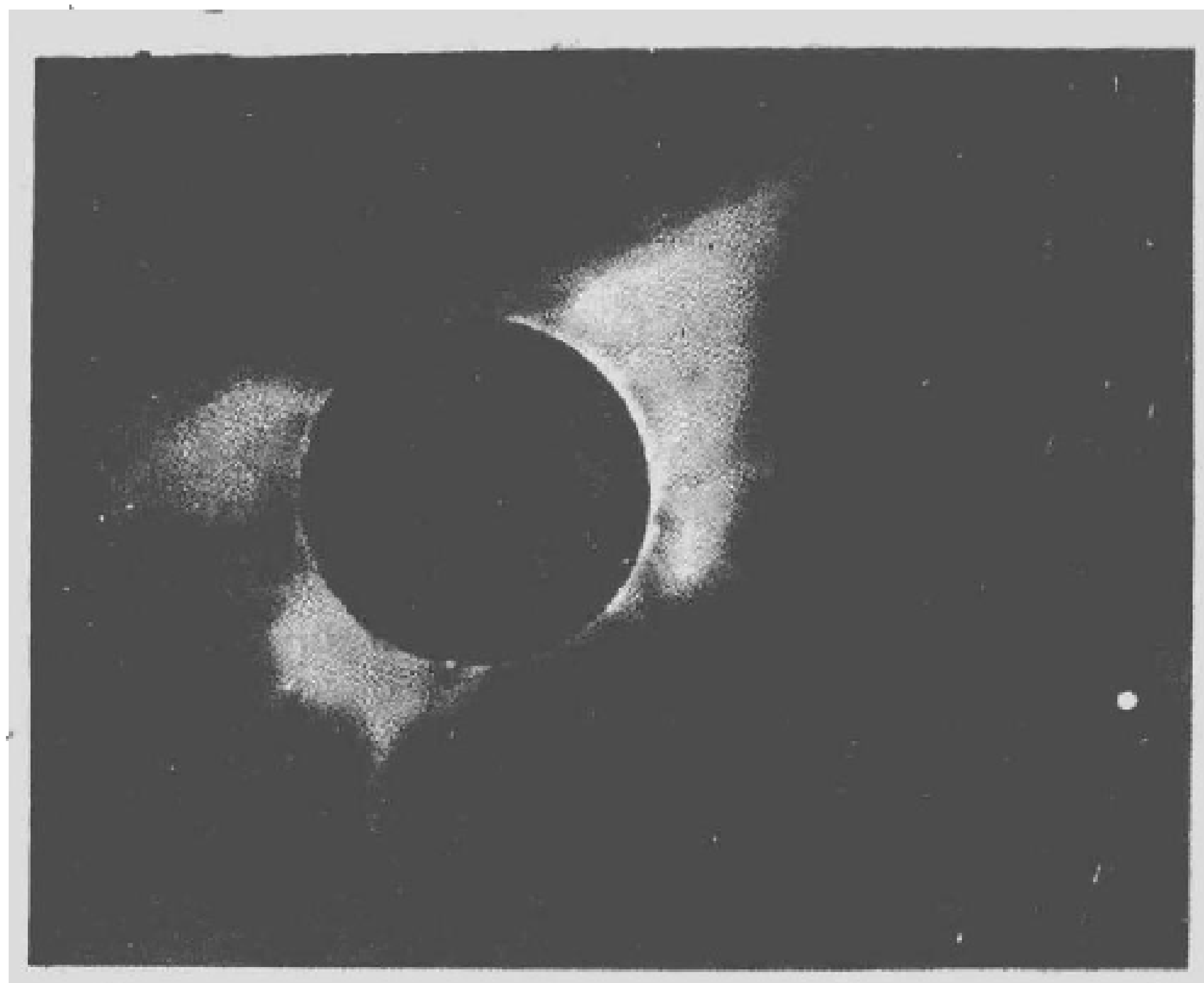


圖 4 — 217　日全蝕時拍到的景象，右方的小白點是金星

日蝕現象除了全蝕（圖 4 — 217 及圖 4 — 218）和偏蝕之外，還有環蝕（*annular eclipse*）（圖 4 — 218）。月球影錐射到的地方，能夠看見全蝕。錐外虛影所射到的地方，則看見偏蝕。月球離地球較遠的時候，影錐尖端達不到地面，這時從圓錐的延長中央部分看太陽的邊緣，還有狹窄的光環，就是發生環蝕的現象。

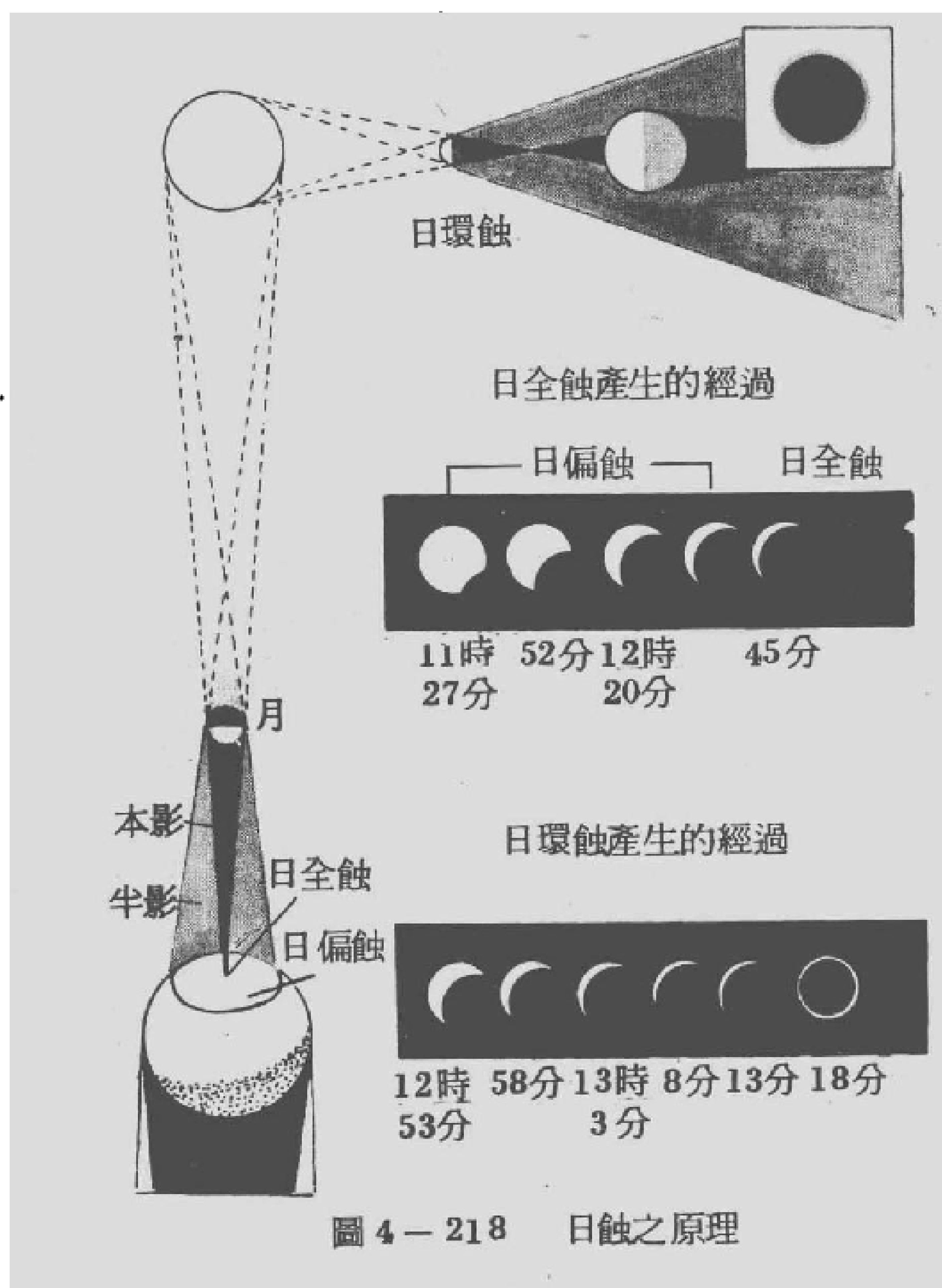


圖 4 — 218　日蝕之原理

環蝕在亞洲，百年中見 17 次，同一小地區欲見環蝕者，數百年不得見，民國 44 年 12 月 14 日，在臺灣高雄鼓山觀測，中原標準時間15點 25 分半初虧，16 點 52 分環蝕甚。

月影投到地面上，急速向西走，所以某一地點能夠看見的全蝕時間非常的短；最長不過七分半，平均約三分。日全蝕帶的寬度，平均約 160公里。在某一地點能夠看見日全蝕的機會，非常的少；平均 360年只有一次，全蝕的機會雖少，而可以觀測的問題則甚多；所以每逢日全蝕，各天文家都不遠千里的去觀測。觀測的問題，例如日月相切時刻的測定、日冕日珥的攝影、閃光光譜的攝影、愛因斯坦（ *Einstein* ）引力說的證明以及氣象地磁等等。

以下爲科學家預測之可見日蝕日期，其中所列之經度，西經爲正，東經爲負。赤道以北緯度爲正，以南爲負：

1. 1973 年 6 月 30 日，全蝕。起於南緯 5 度，西經 60 度，“蝕午”北緯 19 度，東經 6 度，止於南緯 13 度，東經 65 度，時間 7 分。

2. 1973 年 12 月 24 日，環蝕。起於北緯 16 度，西經 102 度，“蝕午”北緯 1 度，西經 47 度，止於北緯 29 度，東經 3 度，時間 12 分。

3. 1974 年 6 月 20 日，全蝕。起於南緯 45 度，東經 59 度，“蝕午”南緯 32 度，東經 107 度，止於南緯 53 度，東經 149 度。

4. 1974 年 12 月 13 日，偏蝕，近北極。

5. 1975 年 5 月 11 日，偏蝕，近北極。

6. 1975 年 11 月 3 日，偏蝕，近北極。

7. 1976 年 4 月 29 日，環蝕。起於北緯 7 度，西經 41 度，“蝕午”北緯 35 度，東經 21 度，止於北緯 32 度，東經 95 度，時間 7 分。

8. 1977 年 10 月 23 日，全蝕。起於南緯 4 度，東經 31 度，“蝕午”南緯 31 度，東經 95 度，止於南緯 33 度，東經 171 度，時間 5

分。

9. 1977年4月18日，環蝕。起於南緯38度，西經33 度，“蝕午”南緯13度，東經25度，止於南緯8度，東經83度，時間7分。

10. 1977年10月12日，全蝕。起於北緯39度，東經171度，“蝕午”北緯16度，西經127度，止於北緯6度，西經65度 ，時間3分。

11. 1978年4月7日，偏蝕，近南極。

12. 1978年10月12日，偏蝕，近南極。

13. 1979年2月26日，全蝕。起自北緯47度，西經140度，“蝕午”北緯61度，西經77度，止於北緯77度 ，西經34度，時間3分。

14. 1979年8月22日，環蝕。起自南緯58度，北緯142度，“蝕午”南緯76度，西經87度，止於南緯78度，西經87度，時間6分。

15. 1980年2月16日，全蝕。起自南緯1度，西經15度，“蝕午”北緯1度，東經48度，止於北緯27度，東經108度，時間4分。

16. 1980年8月10日，環蝕。起自北緯1度，西經169 度，“蝕午”北緯4度，西經108度，止於南緯23度，西經52度，時間3分。

17. 1981年2月4日，環蝕。起自南緯39度，東經132 度，“蝕午”南緯45度，西經146度，止於南緯16度，西經78度，時間1分。

18. 1981年7月31日，全蝕。起自北緯42度，東經40 度，“蝕午”北緯54度，東經127度，止於北緯25度，西經159 度，時間1分。

19. 1982年 1月25日，偏蝕，近南極。

20. 1982年6月21日，偏蝕，近南極。

21. 1982年7月20日，偏蝕，近北極。

22. 1982年12月15日，偏蝕，近北極。

23. 1983年6月11日，全蝕。起自南緯36度，東經60 度，"蝕午"南緯7度，東經111度，止於南緯18度，西經168度，時間5分。

24. 1983年12月4日，環蝕。起自北緯34度，西經58 度，"蝕午"北緯2度，西經8度，止於北緯10度，東經50度，時間4分。

25. 1984年5月30日，環蝕。起自北緯1度，西經136 度，"蝕午"北緯38度，西經74度，止於北緯28度，東經3度，時間1分。

26. 1984年11月22日，全蝕。起自北緯0度，東經128度，"蝕午"南緯39度，東經170度，止於南緯33度，西經88度，時間2分。

27. 1985年5月19日，偏蝕，近北極。

28. 1985年11月12日，全蝕。起自南緯52度，西經146 度，"蝕午"0度，止於南緯70度，西經164度。

29. 1986年4月9日，偏蝕，近南極。

30. 1986年10月3日，全蝕。起自北緯66度，西經26 度，"蝕午"0度，止於北緯56度，西經28度，時間1分。

31. 1987年3月29日，中心蝕。起自北緯47度，西經71 度，"蝕午"南緯17度，西經164度，止於北緯11度，東經54度。

32. 1987年9月23日，環蝕。起自北緯46度，東經68 度，"蝕午"北緯19度，東經135度，止於南緯13度，東經167度，時間2分。

33. 1988年3月18日，全蝕。起自南緯4度，東經86度，“蝕午”北緯28度，東經146度，止於北緯54度，西經143 度，時間3分。

34. 1988年9月11日，環蝕。起自北緯1度，東經44度，“蝕午”南緯28度，東經101度，止於南緯56度，東經165度 ，時間7分。

35. 1989年3月7日，偏蝕，近北極。

36. 1989年8月31日，偏蝕，近南極。

37. 1990年1月26日，環蝕。起自南緯71度，東經74度 ，“蝕午” 0度，止於南緯48度，西經7度。

38. 1990年7月22日，全蝕。起自北緯60度，東經24 度，“蝕午”北緯73度，東經142度，止於北緯30度，西經139 度，時間3分。

39. 1991年1月15日，環蝕。起自南緯30度，東經109度，“蝕午”南緯 38度，西經174度，止於赤道，西經114度，時間9分。

40. 1991年7月11日，全蝕。起自北緯13度，西經175度，“蝕午”北緯22度，西經105度，止於南緯13度，西經46度，時間6分。

41. 1992年1月4日，環蝕。起自北緯11度，東經137 度，“蝕午”北緯2度，西經168度，止於北緯33度，西經118度，時間12分。

42. 1992年6月30日，全蝕。起自南緯35度，東經35度 ，“蝕午”南緯26度，東經5度，止於南緯51度，東經39度。

43. 1992年12月24日，偏蝕，近北極。

44. 1993年5月21日，偏蝕，近北極。

45. 1993年11月13日，偏蝕，近南極。

46. 1994年5月10日，環蝕。起自北緯14度，西經146度，“蝕午”北緯42度，西經81度，止於北緯32度，西經4度，時間7分。

47. 1994年11月3日，全蝕。起自南緯8度，西經97度，“蝕午”南緯36度，西經31度，止於南緯32度，東經47度，時間4分。

48. 1995年4月19日，環蝕。起自南緯31度，西經137度，“蝕午”南緯6度，西經82度，止於南緯6度，西經23度，時間7分。

49. 1995年10月24日，全蝕。起自北緯34度，東經51度，“蝕午”北緯10度，東經110度，止於北緯5度，東經172度，時間3分。

50. 1996年4月17日，偏蝕，近南極。

51. 1996年10月12日，偏蝕，近北極。

52. 1997年3月9日，全蝕。起自北緯49度，東經87度，“蝕午”北緯71度，東經154度，止於北緯83度，西經159度，時間3分。

53. 1997年9月1日，偏蝕，近南極。

54. 1998年2月26日，全蝕。起自南緯2度，西經144度，“蝕午”北緯6度，西經81度，止於北緯30度，西經19度，時間4分。

55. 1998年8月22日，環蝕。起自南緯1度，東經87度，“蝕午”南緯4度，東經147度，止於南緯29度，西經155度，時間3分。

56. 1999年2月16日，環蝕。起自南緯41度，東經8度，“蝕午”南緯41度，東經88度，止於南緯13度，東經154度，時間1分。

57. 1999年8月11日，全蝕。起於北緯41度，東經65度，“蝕午”北緯46度，東經18度，止於北緯17度，東經87度，時間2分。

58. 2000年2月5日，偏蝕，近南極。

59. 2000年7月1日，偏蝕，近南極。

60. 2000年7月31日，偏蝕，近北極。

61. 2000年12月25日，偏蝕，近北極。

【月相】(**Phase of the moon**)

月球自己不能發光是反照日光而發輝，所以成有朔望兩弦的現象；這叫做月相（如圖4－219）。當月球挾在地球和太陽中間的時候，叫做朔或新月（*new moon*）；地球向著它的暗面，所以完全看不見月亮。過了幾天，就成爲蛾眉月（*crescent moon*）的形狀，到了太陽和月球對於地球成直角的位置，月球在於東方，是爲上弦（*first quarter*）；月球半面輝明。再過幾天，月球在太陽的反對側，是爲望或滿月（*full moon*）。再過幾天，是爲下弦（*third quarter*），拂曉月亮在太陽西邊成直角。以後又達到朔。正南方向，上弦月的弦在左邊，下弦月的弦在右邊；正西時候，上弦月的弦向上，下弦月的弦向下。大概的位置如下：

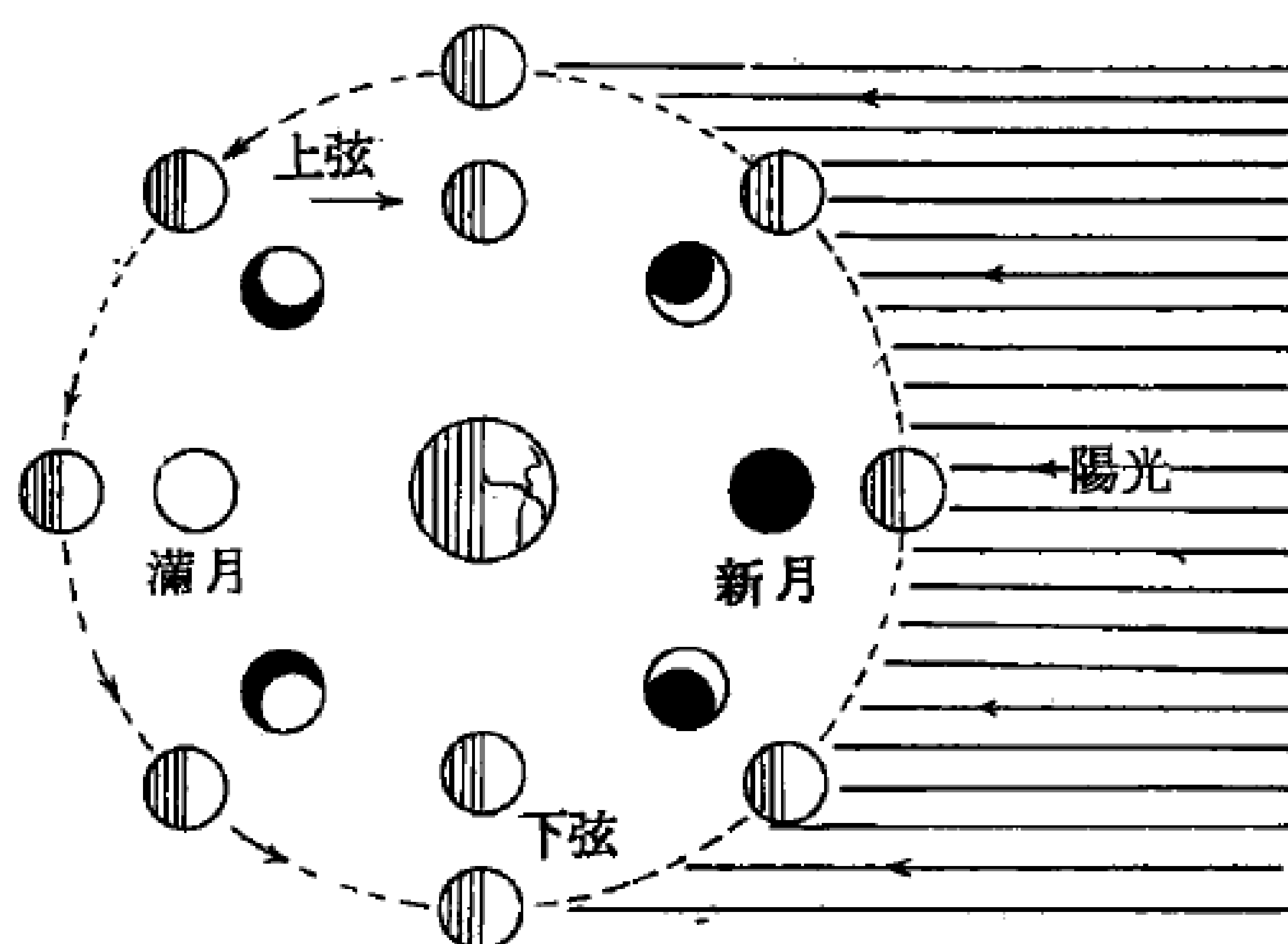


圖4－219　軌道上是它的眞象內側是它的視象

		18時	0時	6時
朔	●	西	×	東

上弦	D	南	西	×
望	○	東	南	西
下弦	◖	×	東	南

蛾眉月時候，月亮的暗面有微弱的光輝，這是地球反射日光，照到月亮暗面的緣故；這種現象，叫做地球反照（ *earth-shine* ）。蛾眉月越窄，這現象越顯明，在兩弦附近時候則消失。

現將各名詞再詳釋如下（圖4—220及圖4—221）：

【朔望月】

自新月到下次的新月之間的日數，卽月的盈虧週期，是爲29.53日。朔是新月，望是滿月的意思。朔望月比一恆星月長（27.32日）的原因，是月球一公轉之間，地球也公轉若干，所以地球所轉的角度，月球就需要多轉了。

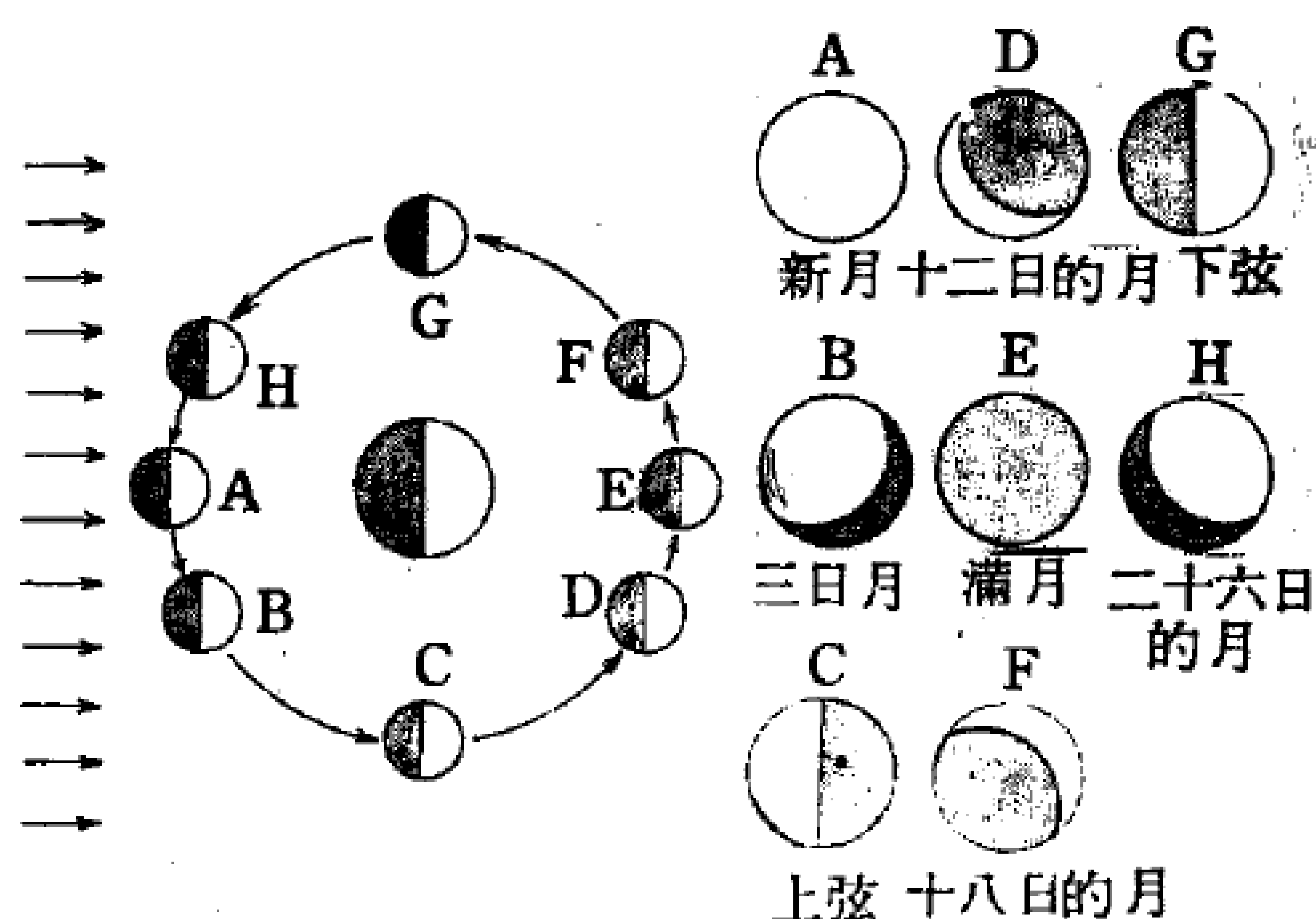


圖 4—220　月的盈虧

【新月】

天空上整天看不到月亮時的月。那是月球和太陽在同一方向的關係，太陽光過於明亮而看不見月球的。新月時會引起大潮，同時月和太陽同在一直線而重疊時，便有日蝕的現象發生。

【三日月】

自新月數起第三天的月，那是傍晚，在西方天空上可看到一會兒。這時候的月球和地球約距45°，受到西下的陽光所照，右下面反光所致。它是夜深前會西沉。

．三日月前後的月的黑暗部分，有時會看得見薄光，這是陽光受地球

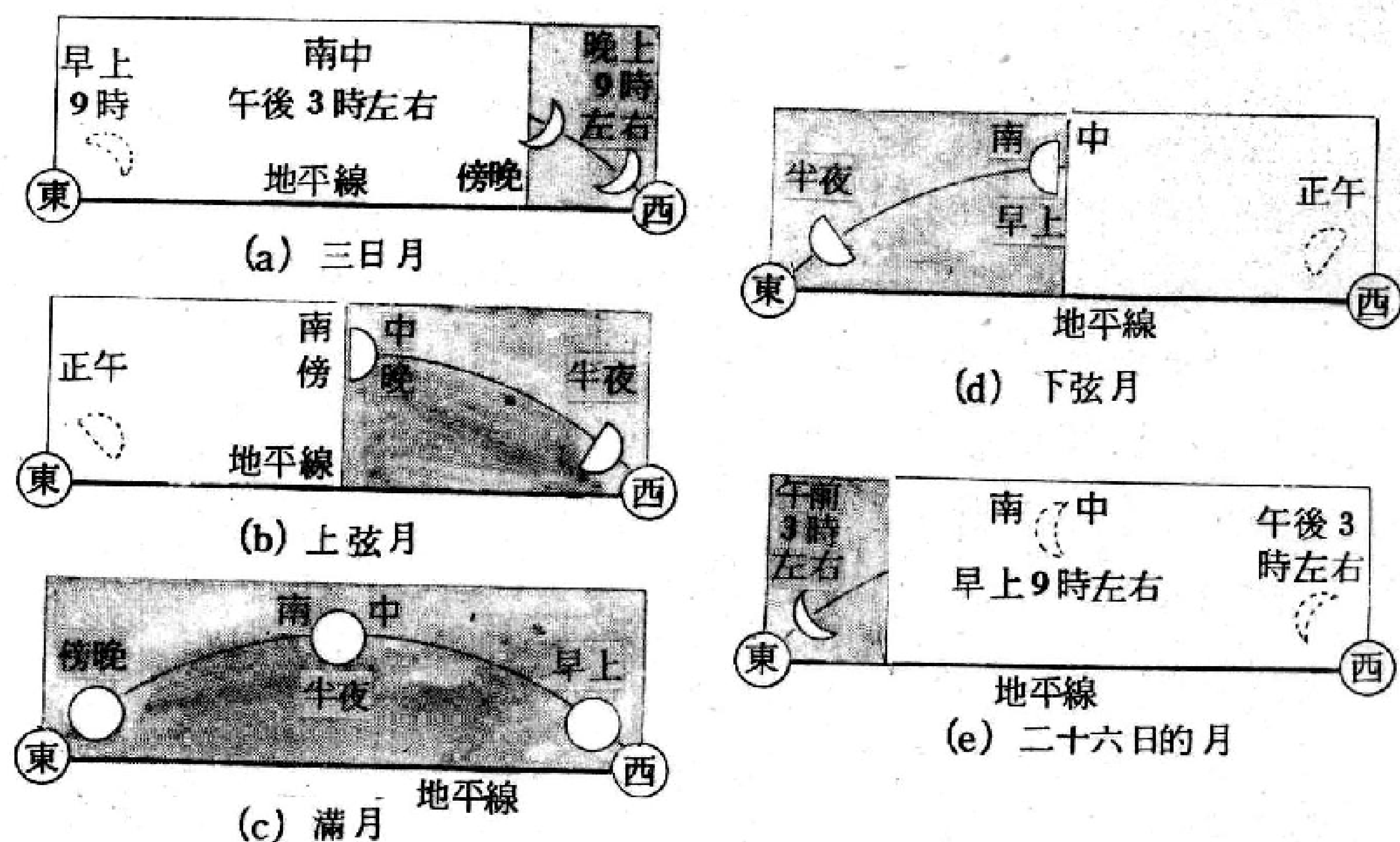


圖4—221　月亮的盈虧與可見的時刻

的反射，映上月球的關係。

【上弦月】

半圓的月中，右側發亮時的月。它在太陽光成直角的位置，傍晚會出現在南方的高空。太陽西沉後，自遠方照射陽光，在右半便發亮。到了晚上，它傾向西，直線的部分（弦）會在上方，所以叫做上弦月。上弦月在半夜裏西沉。

【滿月】

很圓的月。是地球在太陽和月球之間時，太陽自西方沉下，月亮從東方出現。並且第二天清早，太陽在東方出現時，月亮又從西方沉下。這一天距新月約十五日，所以又叫十五夜。

【下弦月】

十五日以後，左側發亮的月。它在深夜由東方上昇，黎明時出現於南方的天空，快到中午時西沉。西沉時，直線的部分（弦）向下，所以

叫做下弦月。

【月出】

月出的時刻，平均一天遲 48 分鐘。這是由月球的公轉，會和日周運動的方向相反的漸向東方行。因此，我們在同一時刻看月出時，它一天天的向東移動位置。

【月球】(Moon)

1969 年七月二十一日，美國發射的太陽神 11 號 (*Apollo* 11) 太空船載送三位太空人阿姆斯壯、艾德林及柯林斯登陸月球成功，開創了人類探勘其他星球的新紀錄。

月球是地球僅有的天然形成的衛星。它距離地球最遠時是 252,710 哩最近時是 221,463 哩，平均距離約為 238,857 哩，月球在它軌道上的速率約為每小時 2,287 哩，因為它自轉一周所需的時間與繞地球一周的時間相等，所以我們在地球上只能永遠看到月球的半面。月球的直徑為 2,160 哩，它的表面積約為地球表面積的 $\frac{1}{4}$， 它的周界約為 6,800 哩，它不像地球一樣有大氣層圍繞著，它的平均密度為水的3.4倍。表面重力為地球的 0.165 倍。反照率 (*albedo*) 為 0.07 ，光度為 − 12.5 。

以下分述月球之性質：

【 I 】月球之來源

有關月球的來源，綜合各種論說分述如下：

1. 凝縮說——與地球生成同樣由凝縮槽而成，由於距太陽與地球距太陽略等，因接近而終被捕獲。

2. 碎片說——為太陽伴星破裂而生碎片之一。其接近地球者乃平衡達到時就接近的關係。

3. 潮鋒說——當地球尙屬流體，可能是液體，當第三星通過地球附近，因潮汐作用，潮鋒逐漸增高，終而一部脫離地表。大部可能被第

三星帶走，一部仍殘留地球重力場內而成爲衛星。

4 雙星說——月球與地球可能同時以雙星生成，因爲月球的質量爲地球的 0.0123 倍，比其他行星的任何衛星都大。

【Ⅱ】月球之年齡

有關推定月球年齡，有一方法是月球的退卻。佛菲里（ *Jeffreys* ）估計月球由接近地球位置退卻到現在距離，經過了 4×10^9 年。這是主要根據在淺海內潮汐能量的消散速度。淺海的分佈在地質時代變化很大。潮汐摩擦愈大，月球的退卻的速度也愈大。

月球的形狀提示它在距地球爲現在 $\frac{1}{3}$ 距離時由液態凝固。差不多所有月球 4×10^9 年的退卻，將包括在由現在的 $\frac{1}{3}$ 距離而移至現在的位置之時間內。此外像月球那樣大小的物體由液體固化時，可能需時比 4×10^9 年短得多。因此月球在成爲地球衛星時年齡不會太老。最簡單的辦法，是假定地球與月球約在同時生成，也是約 4×10^9 年。但由太陽神十六號帶回來的岩石的測定，月球年齡高達 42 億五千年到 45 億年之久。

【Ⅲ】月球之距離

月球離地球的距離是測量月球對地心視差而得之。設二觀測者 *A* 和 *B*（如圖 4—222）同時對月球施行照相，以遙遠的星體爲背境，以定兩地所照月球對星體的位置。而知其照片上月像不能在相同的位置。月像的角度移動（方位移動）與距離 d_m 有關，由下之比例式表示之：

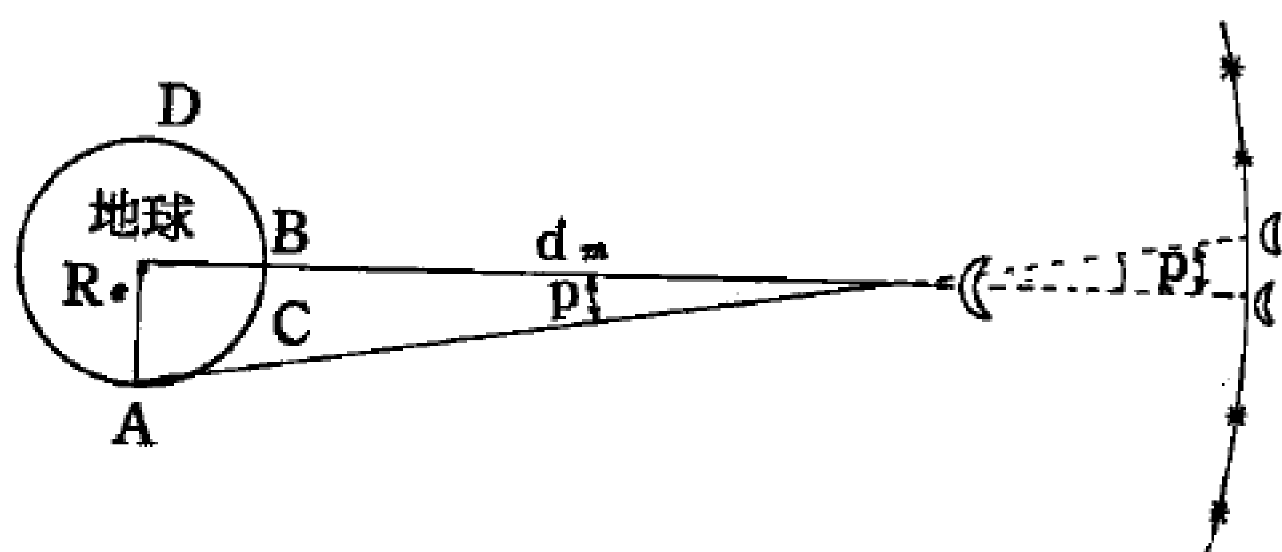


圖 4 — 222

月球的地心視差爲由月球所見地球半徑對向之角 p。由地球表面上二點所觀測天球上月球的影像的移位而測定之。

$$\frac{p^\circ}{360^\circ} = \frac{R_e}{2\pi d_m}$$

將月球的地心視差 $p = 57'$ 或 $0.95°$，和地球半徑 $R_e = 6,370$ 公里代入上式則得

$$\frac{0.95°}{360°} = \frac{6,370}{2\pi d_m}$$

即 $d_m = 384,000$ 公里 $= 60 \times$ 地球半徑

實際上不可能由 A 和 B 同時觀測月球，因在 B 點觀測時月球為在地平面上。故必須在地球上的其他二點，例如由 C 和 D 二點同時對月球照相，於是在照片上可量得視差的移動並以之轉變為地心視差。

測定對月球距離的其他方法依光的性質而定。如有一光的信號發至月球，再由月球表面反射回來，則在地球上自信號發出至收到回音的時間乃光傳播由地球到月球距離二倍的時間。為實現這種測量，美國陸軍通信隊曾用雷達波長約300厘米的輻射。輻射脈動約為 $\frac{1}{4}$ 秒；信號發出後，2.56 秒收到清晰的回音。至月球的距離所需時間乃為光波來回傳送時間的 $\frac{1}{2}$，即 1.28 秒。

$$\begin{aligned}\text{距離} &= \text{速度} \times \text{時間} \\ &= 3 \times 10^5 \times 1.28 \\ &= 384,000 \text{ 公里}\end{aligned}$$

這方法改進後可得到 0.1公里的準確度。最近推算的結果為 384,400 $km \pm 2\ km$（利用雷射線）。

【IV】月球之大小

如果到月球的距離為已知，則其半徑可由其角的大小算定之。因由地球看月球半徑對向之角為 $\frac{1°}{4}$，則由圖 4—223得比例式：

$$\frac{\frac{1°}{4}}{360°} = \frac{R_m}{2\pi d_m}$$

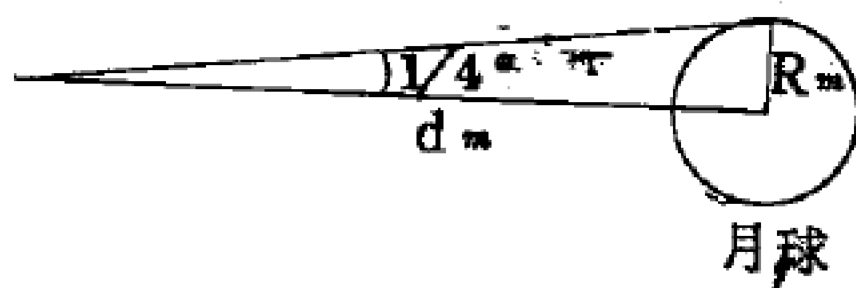


圖 4 — 223
月球半徑的測定由地球看月球半徑對向之角為 1/4°，因到月球的距離 d_m 為已知，則其半徑（用公里表示）可由三角形計算之。

因 $d_m = 3.84 \times 10^5$

$$R_m = \frac{2\pi \times 3.84 \times 10^5}{4 \times 360}$$

即 月球半徑 = 1,670 公里 = $\frac{1}{4}R_e$（地球半徑 R_e = 6,370 公里）

這半徑之值亦可直接由月球的地心視差 $p^\circ \approx 1^\circ$ 求得之，毋須以之換算為線距離。由定義，地心視差為由月球看地球半徑對向之角，由圖 4—224 可見出。

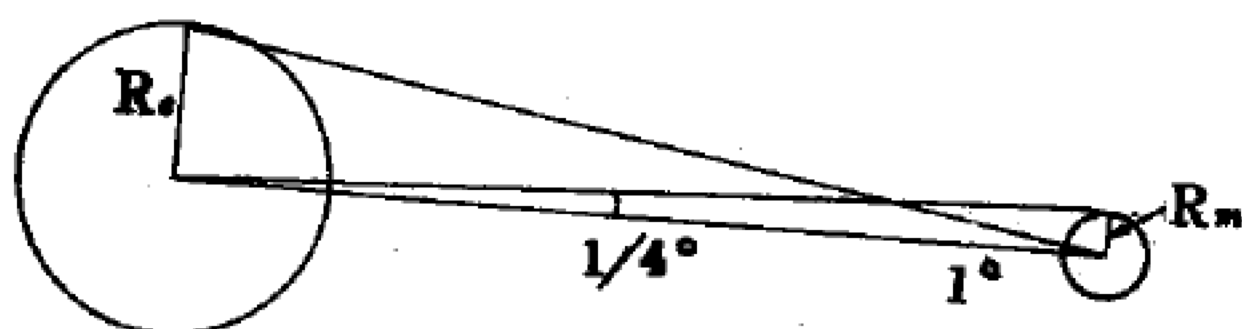


圖 4—224

以地球半徑為單位的月球半徑之測定。月球的地心視差，即由月球看地球半徑對向之角，約為由地球看月球對向角之 4 倍。

$$\frac{R_m}{R_e} = \frac{\frac{1^\circ}{4}}{1^\circ} = \frac{1}{4}$$

球的體積為比例於其半徑的三次方：

月球體積 = $\frac{1}{64}V_e = 2 \times 10^{25}$ 厘米^3（V_e 表地球體積）

【V】月球質量

月球質量的測定依地月系（*earth-moon system*）的重力中心位置為準。不論何時兩天體在引力作用下運行，每天體均環繞其公共重力中心在一軌道內廻轉。於是月球和地球在橢圓軌道中環繞

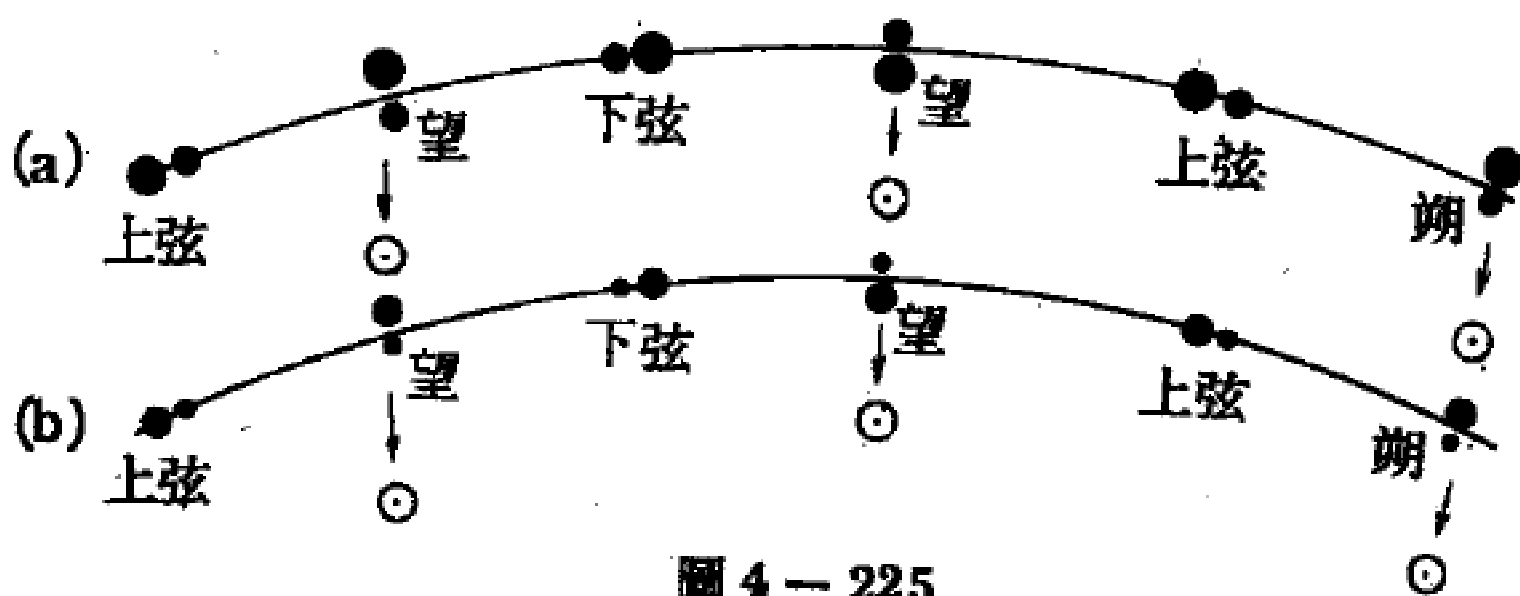


圖 4—225

(a)及(b)地月系環繞太陽的軌道運動

其公共重力中心而運轉，即以光滑的橢圓軌道環繞太陽而廻轉，假定地球中心沿近似圓周軌道，環繞太陽而廻轉，此對實際情形而言並非嚴格的正確。如圖 4—225顯示它們29 日的週期中，月球運行的形態。當在半個月的中間地球中心到太陽的距離比地月系重力中心到太陽稍遠，當在其他一半時間內，則離太陽較近，在整個月內地球和太陽間的相對距離可量太陽圓面（日輪）角的大小變動以測定之。這系的重力中心在類圓周的軌道上運行如(*a*)，在朔月時，地球略偏出軌道外方，而月球則偏出軌道之內方。在望月時，地月相關位置適相反。月球環繞太陽的運動如(*b*)所示，這弧的曲率略有改變，在望月時大於朔月時，但軌道則常凹向太陽。在(*a*)圖二天體的直徑和它們的間隔是過分誇大畫之，在(*b*)圖地球與月球間之距離，表示正確的天文單位。今太陽的最大和最小的角直徑爲 α（最大）和 α（最小），如圖 4—226，則

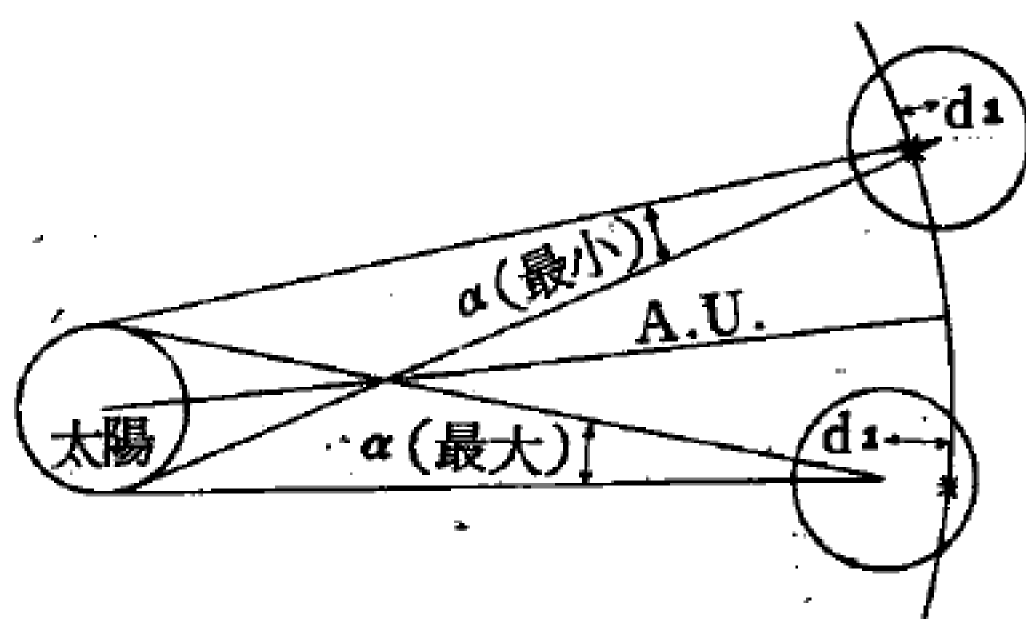


圖 4 — 226
由觀測望月和朔月的太陽角直徑作地月質量比測定法（假說的）

$$\frac{\frac{1}{2}〔\alpha（最大）-\alpha（最小）〕}{\frac{1}{2}〔\alpha（最大）+\alpha（最小）〕}=\frac{d_1}{1}\text{天文單位}$$

〔α（最大）－α（最小）〕的差值僅約弧秒 0.06″，因所見太陽邊緣不清晰的關係，此值不易準確。

故在實際上，太陽位置的向東或向西移位，或一附近小行星如愛神者，應在全月中加以觀測。如圖 4—227所示的移位，在太陽的情形中每月的移位量約

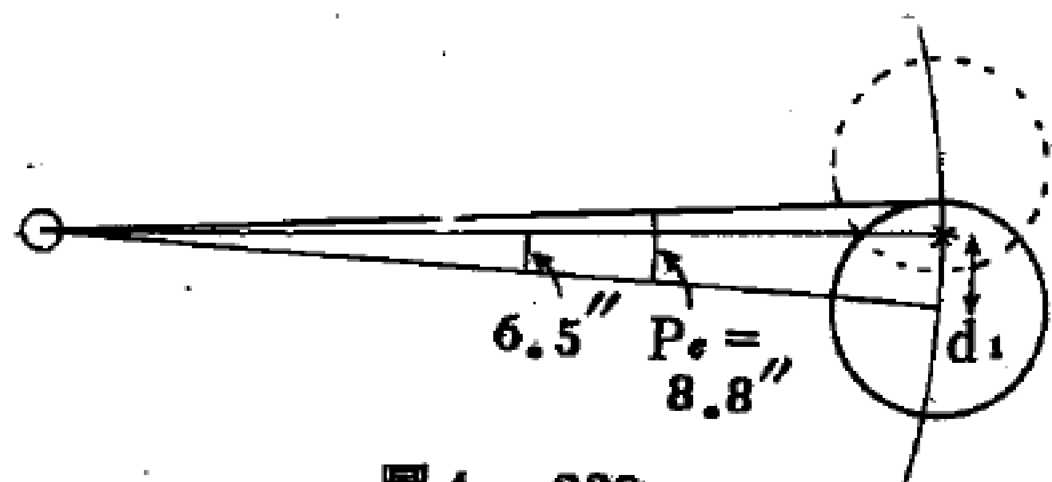


圖 4 — 227
由一月中太陽東和西移位以作地月質量比的測定法

6.5″，因太陽的地心視差爲8.8″，故推知

$$\frac{d_1}{R_e} = \frac{6.5''}{8.8''}$$

即

$$d_1 = 6,400 \times \frac{6.5}{8.8} \approx 4,800 \text{公里}$$

小行星愛神接近地球之距離爲其離太陽距離$\frac{1}{8}$。故在天空中其每月位置的東西移動擴大爲相同的比例。因地球半徑爲6,400公里，地月系的重力中心爲在地球之內。又因 d_1 爲已知， 地球和月球質量之比可由次式計算之。

$$\frac{M_e}{M_m} = \frac{D - d_1}{d_1}$$

$$D = d_m = 384,000 \text{公里，故} \quad \frac{M_e}{M_m} = \frac{384,000 - 4,800}{4,800}$$

即

$$\frac{M_e}{M_m} = \frac{80}{1}$$

即地球比月球大80倍，因地球質量爲 6.0×10^{27} 克。

$$M_m = \text{月球質量}$$

$$= \frac{1}{80}\text{地球質量}$$

$$= 7 \times 10^{25} \text{ 克}$$

【Ⅵ】月球之公轉

月球公轉方向和地球自轉方向相同。公轉的速度，平均來說，在其軌道上運行的速度大約是每小時2,287英里。其實，當它在“近地點”時運行的速度是比它“遠地點”時的運行速度來得快些。然而其在天空中運行之視角，則每小時約爲33分，這也剛好等於其視直徑者。

倘若在星空上給月球某一指定點的話，那麼當它在星空上繞轉一周

而回復到原來之點時，其所需的時間是27天7小時43分11.47 秒，這就是所謂“恆星月”（ *sidereal month* ）。又假如根據月球的盈虧位來計算的話，那麼由滿月到下一個滿月的所需時間是29天12小時44分2.78 秒，即所謂“會合週期”，亦即朔望月（*synodic month*）。

【Ⅶ】月球之自轉

月球也有自轉，自轉方向和地球相同。自轉軸和它的軌道面的垂線成6.5度的角。自轉週期和恆星月相等，並且向同一方向；所以結果月亮常以同一表面向地球。這大概因爲月亮從前爲液體或黏體時代，受地球的引力就發生月亮實體的潮汐作用；潮汐作用的摩擦，就發生上述的結果。

月球自轉結果所生一晝夜的長短，是和太陽有關係，所以和朔望月相一致。

月球自轉軸不是和軌道面的垂線相一致，所以我們半個月能夠看見一極的他方；後半月能夠看見他極的他方。所超過兩極的最大限度，約爲月面緯度6.5度。這種現象叫做緯天平動（ *libration in latitude* ）。

月球自轉速度雖然不變，但是公轉速度因爲是在橢圓軌道上所以沒有一定；結果就發生經天平動（ *libration in longitude* ）之現象。就是在月球和地球近距離的部分，公轉速度太快，所以略能看見正面西側的後方；反之，在遠距離部分，公轉速度太慢，略能看見東側的後方。這種超越的最大限度約爲月面經度8度。

月球赤道部也有隆起部分，因爲地球的引力作用，就發生極微量的振動；這叫做眞天平動（ *physical libration* ）。因爲這些天平動的結果，我們常常能夠看見月面的41％，反對側的41％ 是永遠看不見；其餘18％是有時能夠看見的部分。

【Ⅷ】月球之盈虧

月光由太陽光反射而來。月球面的一半常光亮，但僅當太陽、地球和月球位置約在同一直線時方能見到月球的半球面。我們稱此月象爲月球望月的位相，或稱爲地在日月之間衝的方位（*aspect of opposition*）。

參閱“月相（*Phase of the moon*）”條。

【Ⅸ】月球之密度

月球的平均密度 $\bar{\rho}$，可由下式計算之：

$$\bar{\rho} = \frac{M_m}{V_m}$$

M_m 和 V_m 的值由前面已知之值代入之：

$$\bar{\rho} = \frac{7 \times 10^{25}}{2 \times 10^{25}} = 3.5 \text{克/厘米}^3$$

因此，月球的平均密度約爲3克/厘米^3（較準確之值爲3.3克/厘米^3），然而地球的平均密度爲5.5克/厘米^3，地球和月球的平均密度之差是極爲有趣的，因此差數乃爲地球平均密度和地球表面岩石平均密度（3克/厘米^3）的差異，由此使在地球內部一個緊密核心假說的成立。因月球平均密度與地球表面岩石密度相似，則月球可能並無緊密核心。由外殼和緊密核心所構成的地球內部結構與幾乎完全由岩石所構成月球的內部結構，兩者的密度差異實爲一重要的問題。

【Ⅹ】月球岩石的成分

岩石成分是研究岩石成因的重要依據。例如，就月岩的成分與地球岩石或隕石有何異同之處，可以比較它們在成因上的相互關係。附帶一提的是，在近代天文研究上，尤其是太陽系的成因與演化，化學擔任著一個非常重要的角色。現將月球岩石的重要化學性質綜合如下：

1. 阿波羅11號與12號攜回的岩石幾乎都是玄武岩。

2. 月岩的成分與任何地球岩石或隕石都不相同。

3.月岩中水份含量甚低。

4.強烈的還原狀態。幾乎所有的鐵都是二價的，含量稍低。

5. 11號岩石中鈦的含量甚高，12號略低，但仍比一般岩石高很多。鎳的含量甚低。14號中〔編號14310〕之玄武岩含鋁量甚高，鐵的成分低，與11、12號相反，而15號中〔編號15535〕之玄武岩中含鐵高、鋁低，又與11、12號相似。由15號帶回〔編號15065〕的月岩含鈉高、矽低。

6.銪的含量甚低，稱爲銪之異常（*europium anomaly*）。

7.揮發性元素含量較低。

從這些特性中可以發現：(1)月岩與地球岩石或隕石物質並非同一來源，它們可能各在太陽系中不同的區域，在不同的環境下形成的。(2)月岩的水份甚低，月球在過去的地質年代中也不會有水份存在的跡象。因之也不會有生物存在的可能。

月球玄武岩的成因有二：

1.撞擊熔融說——月球玄武岩形成的方法，最容易想到的一種，就是撞擊熔融。當隕石以高速度撞擊月表時，大量的動能轉變成熱能，在均勻而有限度的加熱下，體積相當大的物質受熱變成熔融狀態。這種作用有一個先決條件，就是在撞擊作用發生以前，月球表面的溫度已經接近熔點，否則均勻的加熱不容易發生。反對撞擊說的人，認爲月球在受隕石撞擊之前，月表的冷卻已達約200公里的深度，因而否認撞擊作用產生熔融的岩流。

不過，撞擊作用雖不能直接造成岩流，但可引發月球的火山作用。譬如，月球在被撞擊前，可能有許多岩漿庫存在月表200公里之下。撞擊作用的龐大能量似乎可以造成月殼的裂罅，從而促成火山活動發生。那麼撞擊說認爲雖然岩漿可能來自200公里之深處，岩流之發生仍與隕石撞擊有關。

2 部分熔融說——月球岩流形成的另一種理論是部分熔融說。此說認爲月球岩流之形成與地球上的玄武岩流相似，而與撞擊作用無關。隕石撞擊月表形成月海之時，並無岩流發生。在月海形成之後甚久，月球內部 200公里深處，由於放射性同位素蛻變產生的熱能，使原始岩石熔融產生岩漿。此種熔融作用，使它的體積膨脹，月殼因而有裂罅發生。岩漿沿裂罅流入較低之月海，冷凝而成玄武岩。

從現在已有的數據來看，我們似乎還不能在此二說之間作一選擇。值得令人注意的是阿波羅 12 號標本中有一塊特殊的月岩〔編號12013〕，是成分極複雜的碎屑岩（*breccia*），除玄武岩外並含有花崗岩。其凝固年齡是40 億年，比其他月岩爲老。這塊碎屑岩很可能是月球火山活動前的遺物。月海形成前後的歷史無疑要比現在我們所知道的複雜得多。而阿波羅 14 號所採集的月球高地的標本中〔編號 14310〕玄武岩的年代是39 億年，阿波羅 15 號爲 41 億年，但在阿波羅 11號中由土壤中鉫、鍶比例推定爲 46 億年。

【 XI 】月球表面

月面崎嶇參雜，高低不平，可分爲海陸二部。

月面暗淡部分稱爲海。月球上無空氣存在，故亦無水，所以月中的海不像地球的海有波濤澎湃。海是月中較爲平坦的地方，起伏極緩，形狀全不規則，與陸的境界線凹凸無定。全月面的海，大別爲十五部分，皆有名稱。

月面的陸地即肉眼所見的光明部分。陸地即高低凹凸的山嶺，各山皆極險峭，其山峯普通較地球上山峯爲高，最高峯達 9 公里，他如5、6公里的高峯，比比皆是。各大山皆有專門名稱。其中多成圓形山狀，即月面的寰形山（*crater*）。寰形山有三種主要形式：一種是中間極平的寰形平原，例如柏拉圖（*Plato*）；一種是中部低陷而不平，中央常還有山峯突起的寰形口，例如第谷（*Tycho*）；另一種就是小小的低窪，

四面沒有什麼山峯，此種在小望遠鏡已見不到了。

月面多圓形突起岩石，內側急峻，外側緩慢傾斜，中央多各有一獨立峯，與地球上所見火山口的構造情形相似，故稱爲火山口或噴火口。火山口總數達三萬個，很多新者重疊於舊者之上，大小不等，滿佈於陸地及海中。地球上火山最高的，如秘魯的米斯西，高 6,100 米，而月面最高火山口爲 8,800 米。地球上最大火山爲日本九州的阿蘇山，外輪的直徑爲 30 公里，而月面最大火山口直徑，竟達 254公里。直徑在 180公里以上的甚多。火山的生成有二說：一說謂月面實有此大火山，因月球表面重力僅當地球重力六分之一，則月面上火山噴發的力量，可較地球上大六倍；另一說謂此火山口爲流星下落所成，因月球無空氣，流星可直達月面，致使月面生陷落的現象；此二說均有相當理由。

大火山的四周，常見有光紋四向射出，多者可至百餘線紋，成一輻輳形，是謂月面輻射紋（ *rays* ）。這些線紋並不高出或凹入月面；其中最長的一線紋，竟達 5,000公里。月面上還有很多裂溝，總數在 1,000個以上。裂溝最長者爲 120 公里，寬 10 公里，深 3 公里。

月球上的山脈有十大系，如圖 4 — 228，它們是：

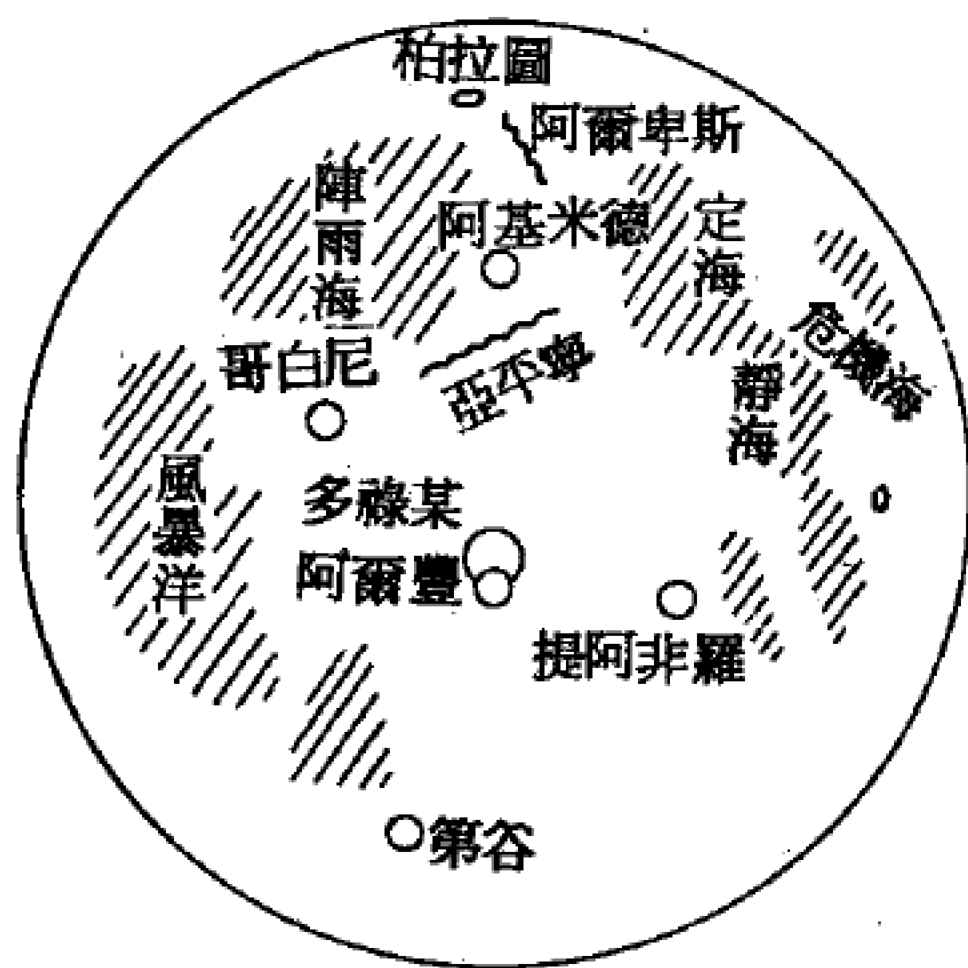


圖 4 — 228　月面圖

1 阿爾豐（ *Alphons* ）——是一個直徑 65 哩的寰形平原，四面環繞的山峯高自 5,000 呎到 9,000 呎。山峯的高度是天文家從其陰影的長度推算而得的。爲月球上最長最大的山脈。

2 阿爾卑斯（ *Alps* ）——高度大都自 3,000呎到 8,000 呎的一條山脈，以勃朗峯（*Mt. Blanc*）爲最高峯，高 14,000呎。在一具口徑 2 吋的望遠鏡裏還可以看到一條

75哩長的山谷，橫斷山脈。

3. 亞平寧（ *Apennines* ）——高在 12,000呎以上的山峯有四個，最高峯有 20,000 呎高。向陣雨海(*Sea of Showers*)那面的山很峻峭。在亞平寧與阿爾卑斯之間有高加索山脈（ *Caucasus Mts.* ）。

4. 阿基米德（ *Archimedes* ）——是一個寰形平原，直徑 50哩，高約4,000呎。

5. 哥白尼（ *Koppernigk* ）——差不多是諸寰形口中最好看的一個，直徑56哩，四面的山峯有高出中間平地 12,000呎的。 在中央還有一個山峯突起，在望月時可以看到縷縷光霧從寰形口裏噴射出來。

6. 柏拉圖（ *Plato* ）——是一個直徑 50 哩的寰形平原，它的內部特暗。

7. 多祿某（ *Ptolemy* ）——是一個很大的寰形體，直徑 90 哩。

8. 危機海(*Sea of Crisis*)——四面環繞著山地，頗像一個很大的寰形平原，值得一提的是它的長度約 280 哩。

9. 提阿非羅（ *Theophilus* ）——直徑 64哩，高 18,000呎，中央有山。

10. 第谷（ *Tycho* ）——也是一個很好看的寰形口，和哥白尼差不多同樣大小。附近的地面高低不平，在望月時也可以看到有很長的光霧（就是月面輻射紋）噴射出來。如圖 4 — 228 所示。

月球面上最大的坑穴叫作克拉維沃斯。它的直徑達 146哩。我們在地球上時所見到的月球表面上，有 32,000 多個坑穴。

月球上無空氣、水份，所以太陽直射月球面上，沒有空氣保護。月球以它自己的軸心為中心慢慢旋轉，它每繞地球轉一次時，自身也只轉一次。因此，在月球上任何一個指定了的地方，總要受太陽光照射近兩個星期，跟著又是兩星期的漫漫黑夜。

月球上漫長的白天中，溫度不斷上升，一直到攝氏 212度，等於水

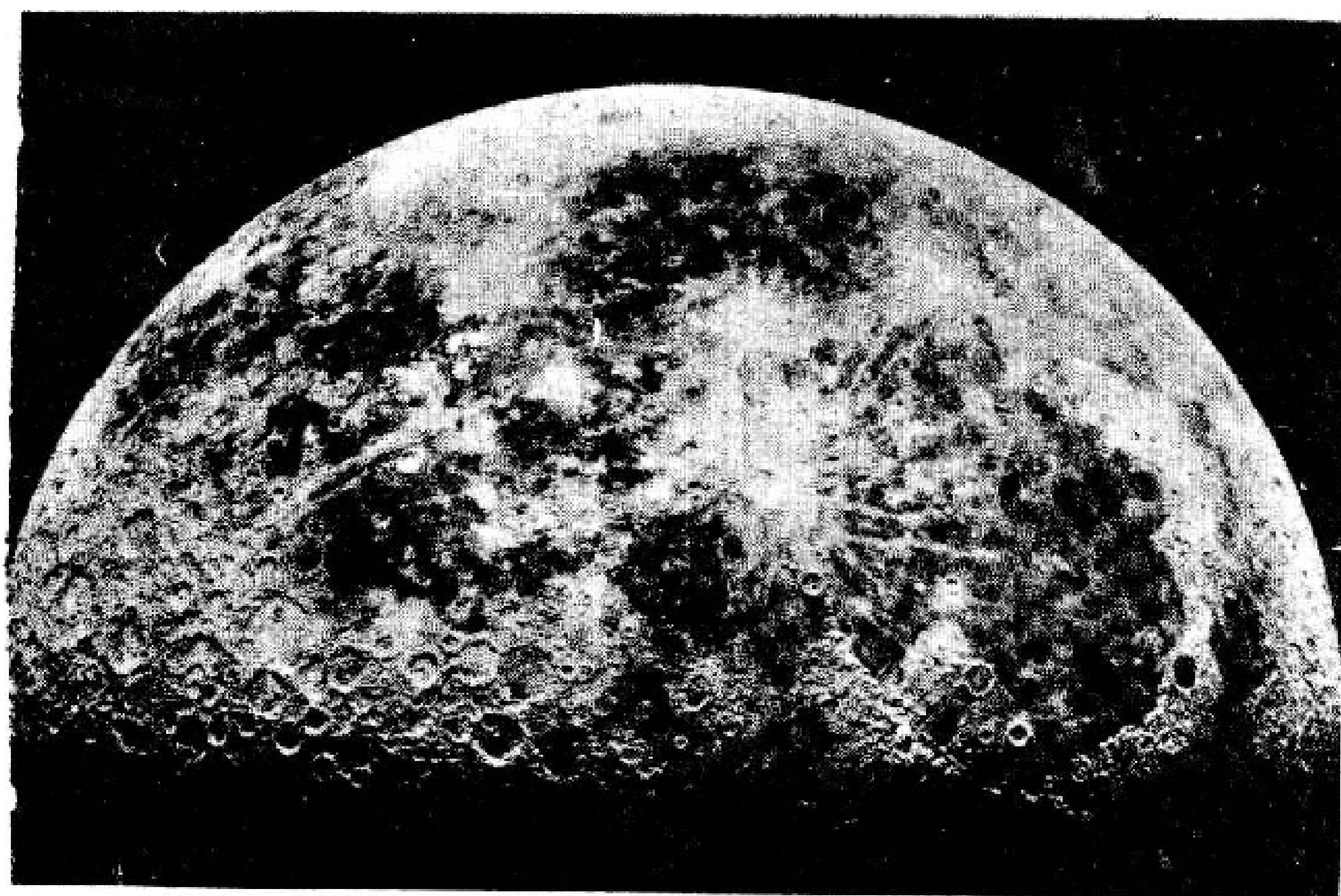


圖 4 — 229
在這張照片中，可以看到從“坑穴”中向四方射出的“光線”，是天文學家所研究的“月球問題”之一。

翻滾時的溫度。而在月球上的黑夜裏，溫度又不斷地下降到零下243度。

【月暈】（Halo）

在夜間，當月亮高掛在天空時，往往可以看到環繞它四周的一個五顏六色的光環，這個光環，叫做月暈。但它比較模糊，沒有日暈那麼清晰。有時候，在空中還會出現明亮的鉛直光柱，它豎立在太陽或月亮上，長達視角40 度，當月亮高於地平線或低於地平線時，就會發生這種現象。

【月蝕】（Lunar eclipse）

滿月時若月球進入地影，就會發生月蝕。月蝕每年可發生二次，三次則極罕見

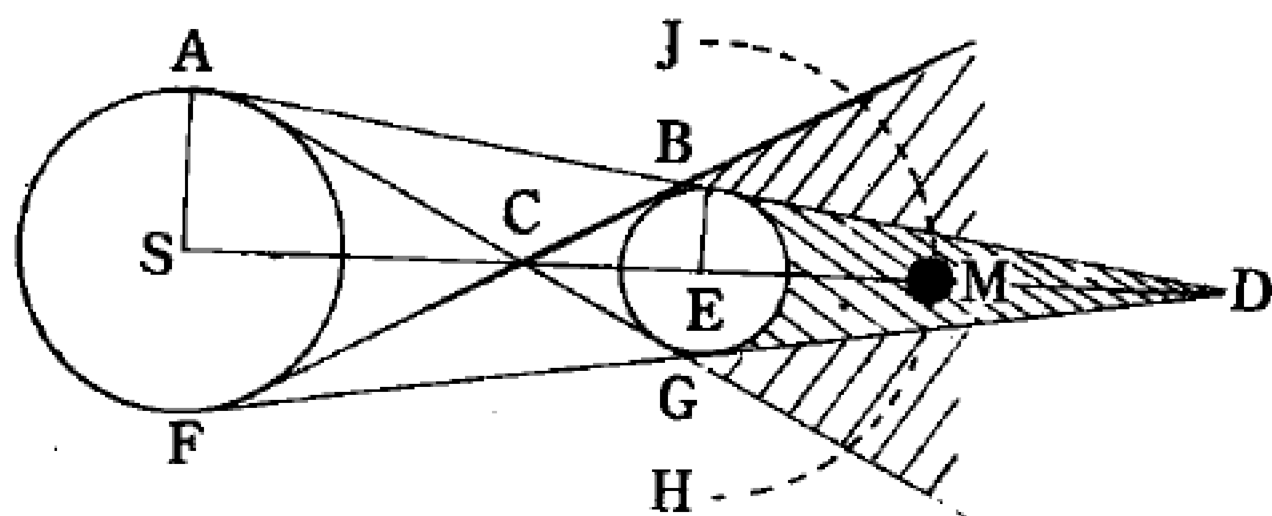


圖 4 — 230　月蝕

，但亦有終年不遇者。

於圖 4—230中，S爲太陽，E爲地球，M爲月球，H J爲白道的一部分。圓錐形BDG 的空間，是地球完全遮斷日光的投影，這部分叫做本影（ *umbra* ）。其周圍JBD和DGH 部分，則是遮蔽日光的一部分，叫做半影（ *penumbra* ）。

月球走到半影中的時候，不過光輝稍弱而已；走到本影則變爲暗黑，但因地球大氣折光散光的緣故，會呈赤銅色。月球全部走到地影中的時候，叫做全蝕（ *total eclipse* ）；只有一部分侵入本影的時候，叫做偏蝕（ *partial eclipse* ）。

月全蝕的時候可以分做五象，當月球和本影第一次外切的時候，叫做初虧（ *first contact* ），第一次內切的時候叫做蝕既（ *second contact* ）；月心和本影中心距離最近的時候，叫做蝕甚，當月球和本影第二次內切的時候，叫做生光（ *third contact* ）；第二次外切的時候叫做復圓（ *fourth contact* ）。偏蝕時候，只有初虧、蝕甚、復圓三種現象（圖4—231）。

月蝕現象一定發生於望（陰曆十五）的時候；但是望的時候，未必發生月蝕。這是因爲白道和黃道不相一致的緣故。望時月球距離交點太遠的時候，不能發生月

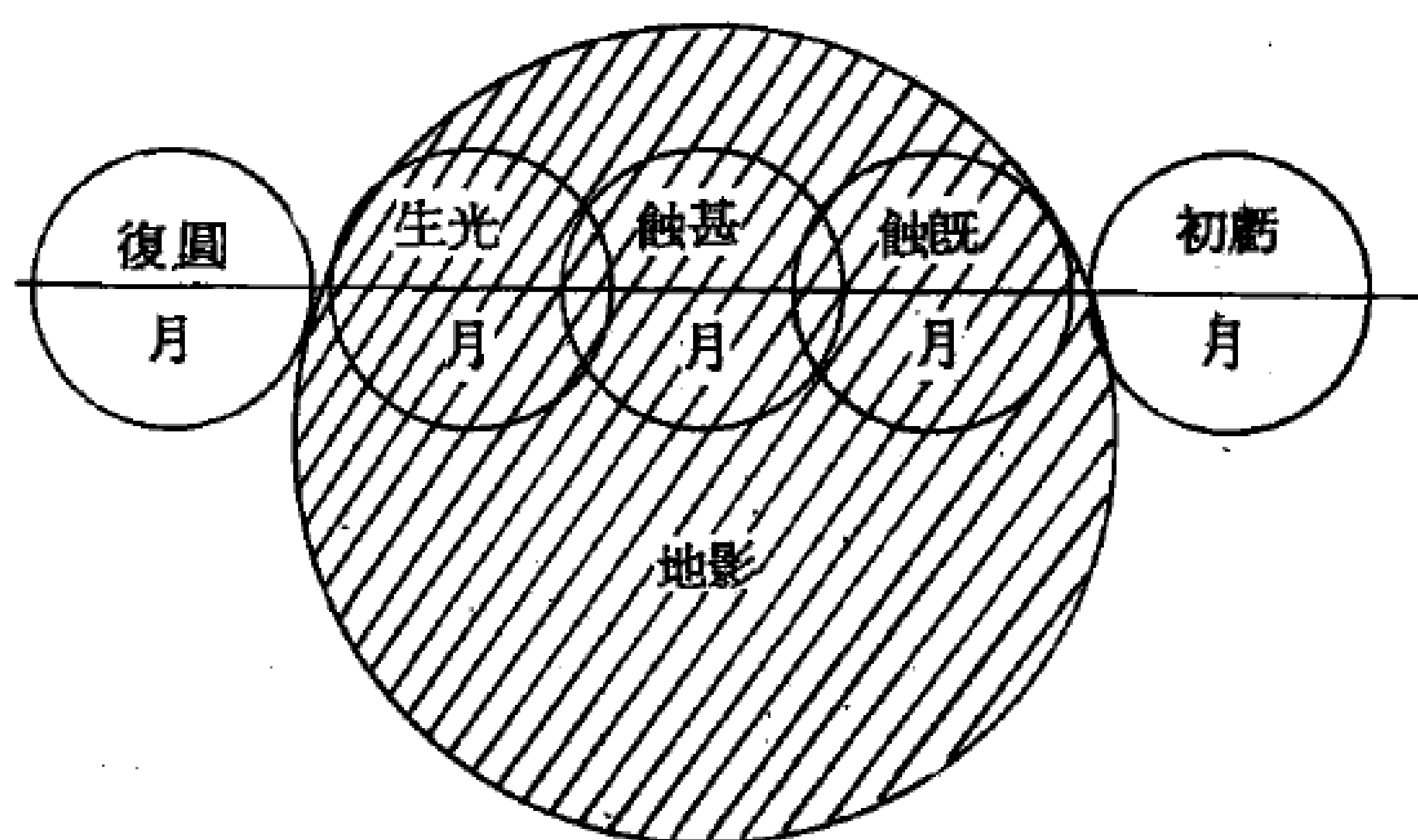


圖 4—231

蝕；就是在某一定距離之內，才可以發生月蝕。這一定的限界，叫做月蝕限（ *lunar ecliptic limits* ）；這限界是隨日、月、地球的距離和

白道交角的變化而略有變動，最大值爲 12.2°，最小值爲 9.5°。

月蝕最長時共維持 3 小時 40 分，其中 1 時 40 分爲全蝕，其餘 2 小時爲偏蝕。

月蝕如在地平以上發生，則因地球自轉，故可見地區超過地球半面以上。

月全蝕時因地球大氣反射紅光進入地影，故仍可見古銅色微光之月面。

月蝕次數雖較少，但見蝕帶極廣，而日蝕帶狹窄，故同一地區之居民，看見月蝕之次數較日蝕多。下表所列爲日蝕（ *solar eclipse* ）和月蝕之比較。

日蝕和月蝕的比較

日蝕	月蝕
1. 起於新月時。	1. 發生於滿月時。
2. 只限於地球的某些區域才能看見。	2. 凡是月球在地平線上，任何地方都可看見。
3. 日蝕發生的時刻，隨所看地點而不同。	3. 月蝕發生的時刻，任何地點都一樣。
4. 發生的時間很短促。	4. 發生的時間很長。
5. 從太陽的右側（西側）開始蝕缺。	5. 從月亮的左側（東側）開始蝕缺。

【木星】（ Jupiter ）

我國古代叫做歲星，是九大行星中最大且亦最重的行星，如圖 4—232，它的直徑比地球的直徑大 11 倍，它的質量也比地球重 317 倍。它的自轉週期爲 9.842 時，是所有行星中最低的一個。木星上的大氣分佈很廣濶，其組成包含氫（ H_2 ）、氮（ N_2 ）、沼氣（甲烷 CH_4 ）及

氨氣（NH_3），因之，其表面完全爲昏暗所籠罩著。

在木星可見雲層表面上的溫度，差不多爲 −150°C 。包括大氣計算在內時，木星的密度爲 1.32811×10^3 仟克/米^3，此值大約爲地球的 0.24068 倍，木星的質量爲 1.89712×10^{27} 仟克。至於木星的本體（大氣除外）如何，到目前爲止，都沒有明確的說明。不過，我們爲假設木星本體的密度等於地球時，則木星的直徑就縮小了 27,000 公里，此值可以代表木星上的廣大的大氣厚度。也許因爲它質量大的關係，木星有最多個天然衞星，差不多有 13 個之多（最近一個在 1952 年發現）。

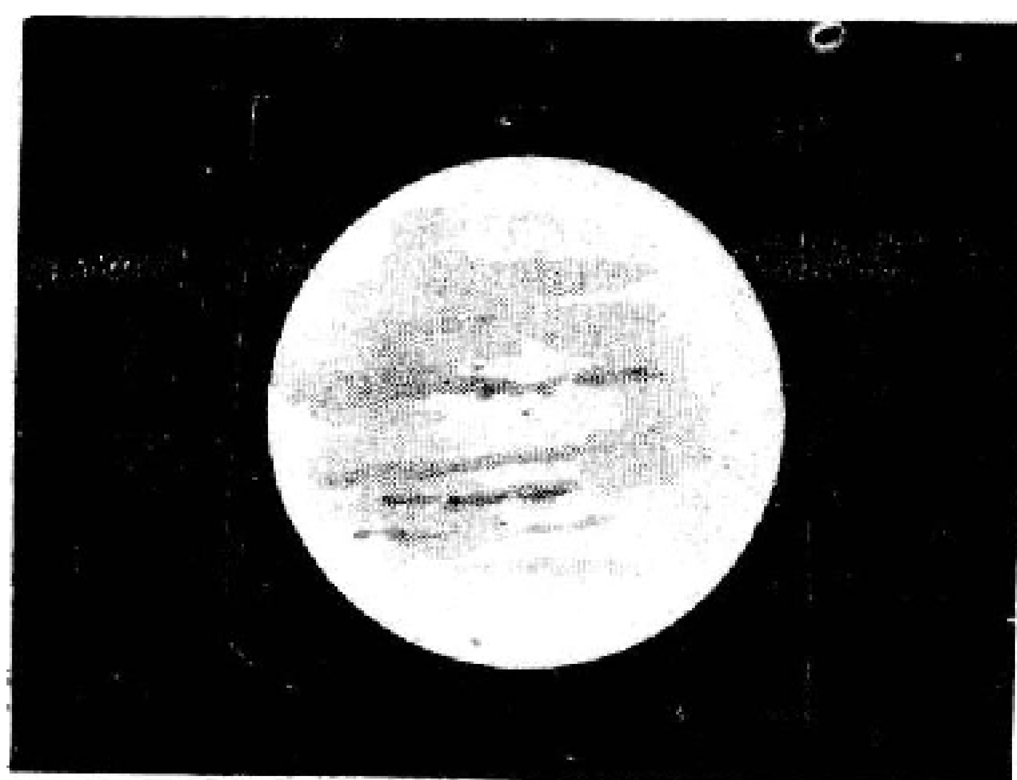


圖 4－232　木星視象

雖然木星離地球 390,200,000 哩，但在天空中木星仍是一個輝耀華美的天體，除金星、火星（在特殊的場合）外，它總比其他星球顯得更光耀奪目。目前它剛好在摩羯座中而也剛在土星的近旁，天一黑後便高懸於東南上空而不斷閃爍帶橙黃色的大星。它的公轉速度甚爲緩慢，如與地球比較眞是不敢領會的；因爲木星的“年”比地球的長出 12 倍，所以在地球上最長壽的人也極難在木星上慶祝其 9 歲的誕辰了。

木星的赤道直徑是 88,698 哩，比地球的要大 11 倍，然而一個小望遠鏡也能顯示出其兩極的扁平程度極大，因爲它的兩極直徑只有 82,890 哩呢！這兒有一簡單的解釋：雖然木星是太陽系中最大的一顆行星，但它卻有最短的自轉週期，比起地球的一天短了 14 小時 6 分鐘；故知它是以極其驚人的速度不停地自轉著，就是在其赤道上的某一質點上最少也以時速 28,000 哩的速度捲旋地前進著。離心力在赤道地帶也大得驚人，結果便造成赤道地方的凸出，使此行星變成如一個壓扁

了的橙子一般。

木星的身體所以會成扁圓形的特徵，這都是表示木星並非十分堅硬的"固體"行星。並且是與其軌道內的其他四顆行星，即地球、水、金、火在意義上大不相同。只要我們用望遠鏡略爲觀察，則這理論當立可證實；因爲我們所看見的並不是一個有高山、有高原或沙漠的固體表面，而只看見層層密密的"雲海"，在不斷的變換和移動中的世界。

木星的"大氣"是十分濃厚和稠密，事實上，我們毫無理由相信此行星已有一層固定的固體表面。其次認爲木星表面的"雲海"是由大氣所組成的也是一種錯誤的想像。正確的說："雲海"也是這行星的一部分，因爲木星的重量並不如我們想像中如此龐大體積所應有的重量一樣。它的平均密度只有地球的$\frac{1}{4}$，只比水重1.3倍；雖然它有莫大的地心吸力，但也只有地球總量的317倍。同時要有千多個木星才能湊成如太陽一般大小的質量。

木星上的"佐溫"雲與地球上的是大不相同，兩種大量存在於木星的氣體，其中一種是氨（*amonia* NH_3），另一種是甲烷即沼氣（*methane* CH_4 *or marsh gas*）正如氨一樣，它有強烈不愉快的氣味。

氨（NH_3）及甲烷（CH_4）都是氫（H_2）的化合物。氫極可能是宇宙間最豐富的元素之一。木星及地球在極年輕的時期都含有多量的氫氣，後來地球的氫漸漸消失，而木星的卻受壓潰的地心吸力所壓制，並未減退。其中大部分是與別種元素化合而成爲今天稠密而有毒的氨和甲烷所組成的大氣層。

至於木星上之所以會缺乏氧氣，這可能是因原來的氧已與更多的氫氣化合成水，在大氣下面，可能是一個厚的"冰海"也說不定。爲了我們未能看到雲層下面的東西，我們只能用間接理由去構成"木星的構造"的圖畫；美國耶魯大學的路栢威特博士曾以爲它是一個由岩石、金屬質所構成的心型球體，其上面由一冰層所覆蓋，這冰層又順次爲氨、甲烷及氫

氣所蔽覆著。直到最近，這見解都被人普遍地接受了。假如威特博士的模型是正確的話，則奇異的事定會在其冰層下面發生。它的壓力定然很小——遠較我們經驗所知。雖然技術上是氣體，但這“物質”必定也有固體的動作。它表面溫度已經曉得大約是華氏 200度。這溫度在氨的凝結點之下。因此“雲海”可能雜有氨的小結晶體，正如地球雲中的小冰點一樣。

本世紀來，有人相信木星有它自己的光，並非完全得自太陽。但實情卻非如此，因其表面溫度乃如預料中只能接受到太陽的光熱所照射時的溫度。然而，林斯博士並不贊成威特博士（石頭——冰層——氣體）的測想，卻說木星是含有大部分的氫氣，這似乎頗爲有理。

假如氫氣佔有了木星質量之 80％ 的話，則除了它地心附近的極大壓縮了氫氣，致使氫失去原有的氣體性質，而變成如金屬一樣的活動性外，木星的心與外層，在原則上將並沒有不同的基本點。

木星的雲層間多含雜質。這些雜質經常變化，甚至用小的儀器也能觀察出來，故此“巨大行星”是望遠鏡中的最使人迷惑的目標之一。

在這顆黃色而平坦的碟形球上，最顯著的標記是雲狀帶。有若干條雲狀帶橫過這行星的表面上，同時，一切圖畫、照片都顯著的表示它們的存在。

偶然一瞥，這些帶子好像是黑色、有規則的線，但精細的觀察顯示它們並不規則，它們呈現出頗多奇妙的結構：明亮及微弱的部分、結點、界區的斑點及山峽。帶中所含雜質常繼續聚結了許多天而不散。

“斑點”之存在於木星上是非常普遍的，其中有一個名叫“大紅斑”的東西，它在 1878 年是自一蒼暗、淡紅的橢圓形的物體，逐漸展開而成爲長約 30,000 哩濶約 7,000 哩的區域。它的表面面積幾約與地球相等。在這區域的那種使人驚駭的鮮紅顏色，並不能持久到幾年以上；自 1890 年這個“紅斑”已大量的消褪了。但在 1936 年它又變成了

最顯目的東西。這塊"紅斑"是常在一定的經度界限裏漂移著，它一度曾自原位向任何一方面漂移了20,000哩。因此，它很可能是塊浮於木星大氣層裏的固體，因爲當它低下時，即受較多的空氣所罩蔽著，使人注意不到。

另外一些"佐溫"雲的特點是生存較短，最多只存在幾個月。另一耐久的特點，就是"紅斑"附近的黑色面積，名曰"南回歸線風潮"，它自1901年即已能繼續看見；它略比"紅斑"更趨近於赤道，且有較短的廻轉週期：因此每隔2、3年它實已追及而超越了"紅斑"了。當這些動作尙在繼續時，"風潮"與"紅斑"，又似乎是把"紅斑"拖延了幾千哩遠，而當"風潮"以此法繼續廻行時，則這"紅斑"又逐漸漂回其原來之位置。

人類好像絕不可能在木星上登陸，因爲除了酷冷的天氣和毒氣漫佈及各種惡劣的條件外，它那酷大的離心力更使此問題毫無考慮的餘地。就算當我們登陸後而想要返回地球時，要脫離木星的吸力，非需以秒速37哩的速度是不可能逃出的；因此欲離開木星的企圖在工作上將是毫無希望了；況且，每人都會感覺到其令人恐怖的重量，一位在地球上重210磅的人，在木星上將重510磅。假如我們眞能到木星上去也得先放棄到這"巨大行星"的期望，而只能希望在木星的某一顆衞星上作我們的研究工作。

木星的四顆大衞星我們都能用小望遠鏡看見（如圖4—233），甚至也有人用肉眼觀察出來的，顯然它們的體積必定相當大。由最新的數字指出，它們的直徑木衞一是2,310哩，木衞二是1,950哩，木衞三是3,110哩，木衞四是3,220哩。就此看來，只有

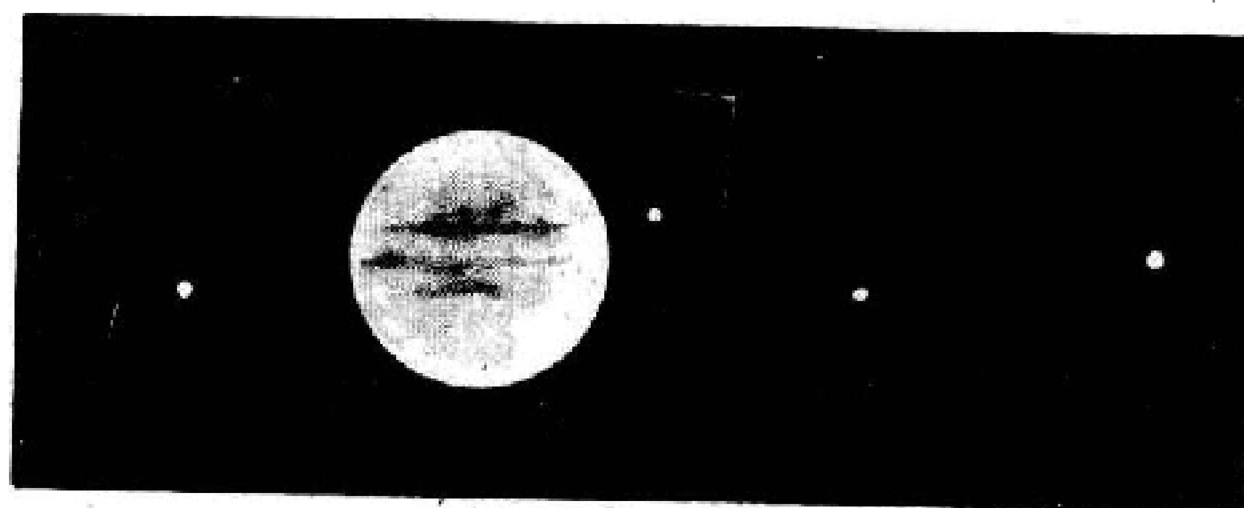


圖4—233　木星和它的四個大衞星

木衛二是比我們的月亮小(按月球的直徑是2,159哩)。而木衛三與四的重量雖不及水星,但都比水星為大(圖4—234)。

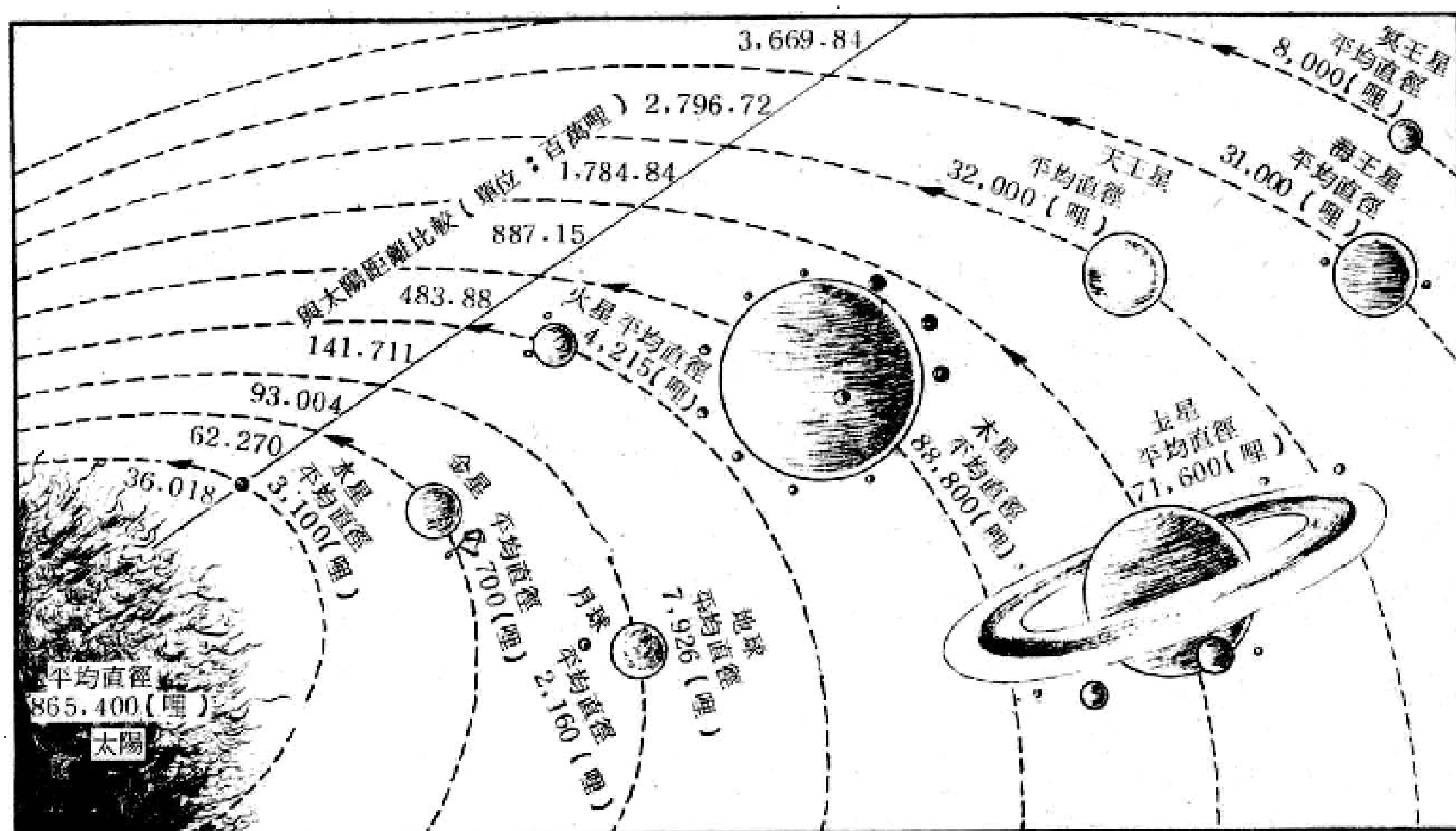


圖4—234　木星與其他行星大小比較及其與太陽距離

在這四顆衛星最內面的一顆就是木衛一,它較月球面積稍大,其脫離速度為每秒1.3哩。它距離木星本體約261,800哩,但巨大的離心力使它只能以1天又18小時半的時間環繞著木星公轉一匝。

木衛二的質量和面積比木衛一要小,但它卻相當明亮,好像一個太陽光的反射器一般。事實上它幾乎反射出了照在其表面的太陽光源的76%;因此它的表面必然是為一種能閃爍和反射像太陽一般的某種物質所包裹著。

木衛三是"伽立略衛星"中最明亮的一顆,它有奇特的形狀和較輕的重量,但它比月球笨重得多,它的脫離速度每秒1.75哩。木衛三的外形看來極像火星,然而就是"別的行星有生命"的熱心支持者也不會相信木衛三的黑色地帶就是植物的影子。因為除嚴寒外,木衛三幾乎完全沒有空氣存在的。

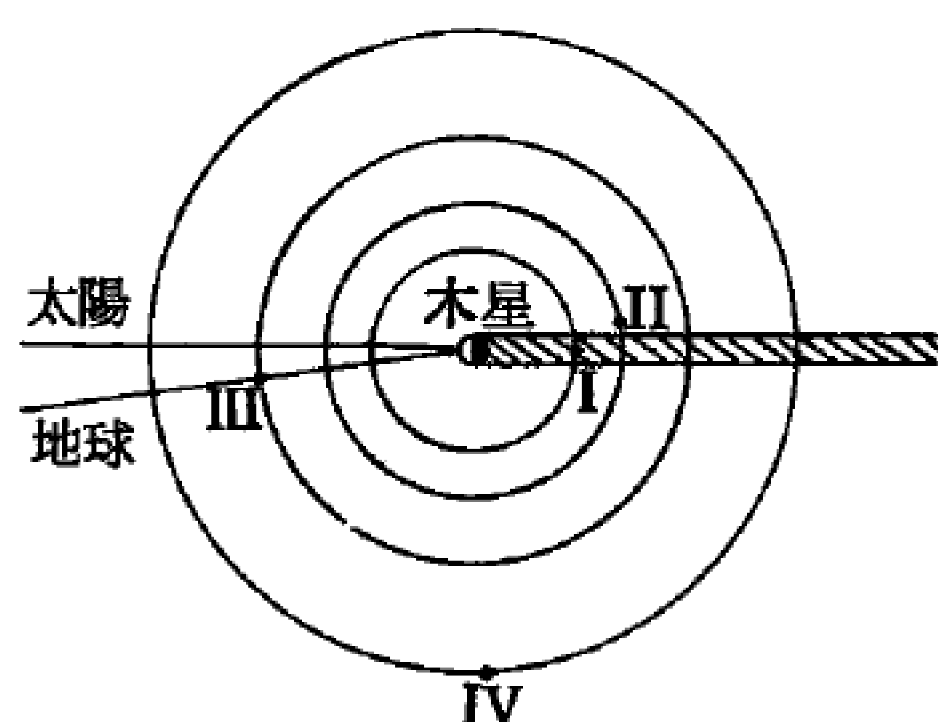
"伽立略衛星系"最後的一顆衛星,就是木衛四。它是一顆最能引

人起興味的衛星，因爲它是木星所屬的 13 衛星中最大，而且又是最輕的一顆衛星；它的直徑比木衛三稍大，比起水星更是大得多多了，但是其重量卻只有月球的一半。有些天文學家認爲木衛四只是一顆由冰或其他鬆弛的物質所組成如雪球般的天體。但它也極可能是一些如浮石類的小石塊所構成的，在它的表面又覆蓋了一層冰雪。然而其脫離速度卻是很低的，故看來又好像是沒有大量的空氣似的。

至於木星其餘的幾顆衛星都很小，它們至今仍舊沒有命名的，木衛五雖曾被命名爲 *Amalthea*，但尚未被正式的公認過。

木衛五是極爲趣味的，它是於 1892 年由巴納教授所發現；它比“伽立略衛星系”的四顆衛星更接近於木星，即距離木星本體只有112,600哩。它的公轉週期是 12 小時。

在木衛們環繞木星的過程中，它們有時在木星之後，所謂被掩（*occulted*），有時在木星之前，所謂凌犯（*transit*），有時在木星的蔭暗面，所謂蝕（*eclipsed*），如圖 4 — 235所示。這時太陽光不能達到它面上，它也就不能把光反射過來，所以我們也不能見到它。行星和衛星並不像恆星般能自己發光的，它們之所以能爲我們見到，全由



I 蝕；II 被掩；III凌犯；IV可見

圖 4 — 235

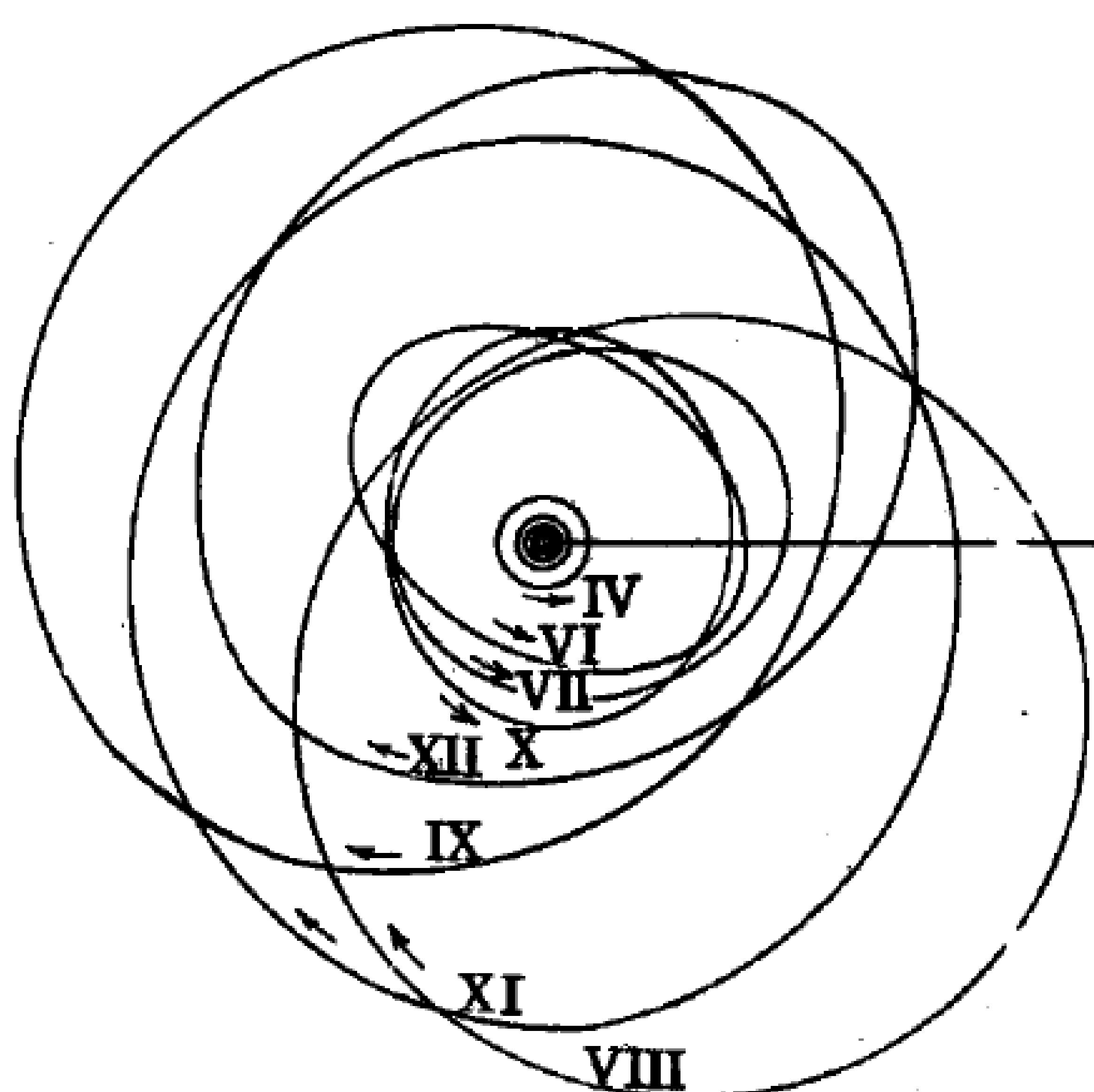


圖 4 — 236　木星的衛星

於太陽光的反射。

如圖4—236，木星的衛星又可分成三羣，內部的衛星：Ⅴ、Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ和Ⅳ，都是從西到東在同一個面上繞轉；它們很可能一直都是衛星。次三個：Ⅵ、Ⅶ和Ⅹ，向著同一個方向轉，但卻在三個不同的平面上；Ⅷ、Ⅸ、Ⅺ和Ⅻ，也各在不同的平面上繞轉，但是卻從東向西運行。這兩羣衛星很顯然代表"逃脫的"衛星，而在兩個不同的時期被再度捕捉回來。這些木星的衛星是以它們被發現的先後次序來編號的。

【欠完美性】(Imperfections)

在晶體中，任何與理想週期性的結構有所偏差的就稱爲欠完美性，或稱爲缺陷。通常的點缺陷有化學雜質，晶格空位(*lattice vacancies*)，空隙原子(不在正規格子位置的原子)。點缺陷是侷限於某一點或原子附近，與線缺陷及平面缺陷相對應。線缺陷就是通常所稱的錯位(*dislocations*)。固體的許多性質都由各種缺陷所控制。某些半導體的導電性幾乎全部來自微量的雜質，譬如在室溫時，含有十萬分之一硼原子的矽晶體之導電率是純矽的一千倍。鹵化鹼元素的晶體通常對可見光爲透明體，若加入化學雜質，或金屬離子，都會產生顏色：氯化鈉($NaCl$)的晶體在鈉蒸氣中加熱會變黃，氯化鉀(KCl)晶體在鉀蒸氣中加熱變紫紅。色心(*color center*)就是指這種會吸收可見光的晶格缺陷。此外，晶體的發光和雜質的存在有關；經過固體的原子，會被雜質或結構缺陷大大的加速，而造成所謂的原子擴散(*atomic diffusion*)；固體的許多機械及塑性上的性質都由欠完美性所控制。欠完美性的意義通常並不指晶格的熱振動，因爲對一個理想晶體而言，熱振動也難避免，除非是在絕對零度。

【比例計數器】(Proportional counter)

當加在游離室的電壓逐漸提高時，如圖4—237所示，游離電流起初逐漸上升，至某一區間則殆呈定值，即游離電流至此已達飽和，此即

普通游離室及游離計數器之電壓與游離電流之範圍。如再使電壓逐漸增加，則游離電流能增至飽和值以上。在此種情況，由入射質點之游離作用直接產出的電子，因被強電場加速，其所具能量足可使其他氣體游離。此稱爲第二次游離作用，前者稱爲第一次游離作用。由第二次游離作用所生的電子，將再行游離作用，直至最後所生的電子抵達端鈕爲止。如是，可產生甚多的電子，

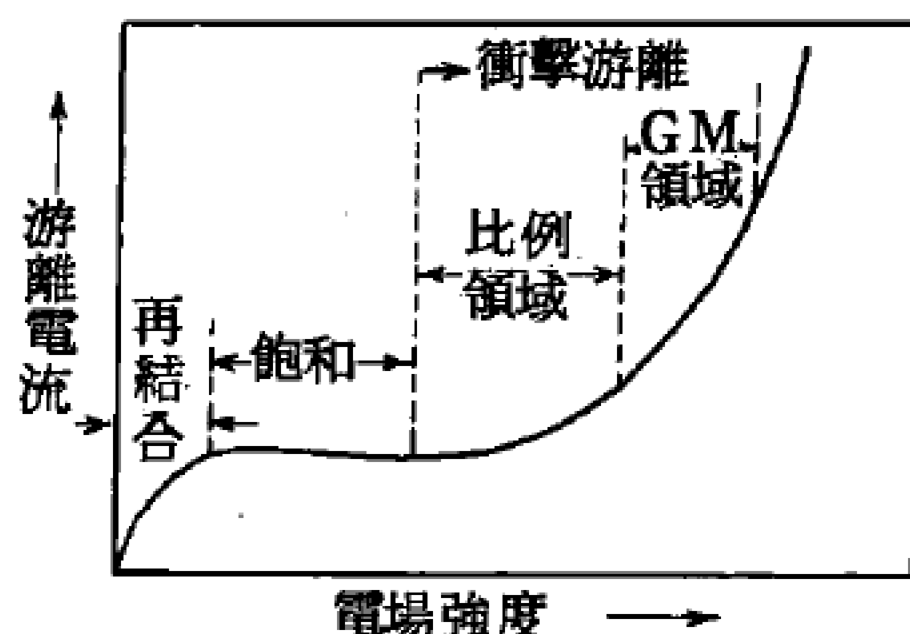


圖 4 — 237

此種電子之繁殖現象稱爲電子崩（*electron avalanche*）。在通常，有紫外線伴隨此種電子崩，紫外線能使游離室之壁或氣體發射光電子，此項光電子又可製造其他電子崩。玆設由於一個電子崩所生的電子數平均爲 n 個，由一個電子崩所發射的紫外線而生的光電子數爲 γn 個。從第二次游離作用開始起，由於一個電子，經甚多電子崩所生的電子總數，即其繁殖率 M 可寫作：

$$M = n + \gamma n^2 + \gamma^2 n^3 + \cdots\cdots = \frac{n}{1-\gamma n}$$

此 M 亦稱爲氣體之放大率。如某一特製游離室之 $\gamma n \ll 1$，則該室內的游離電流，即與因第一次游離作用所生游子對的數目成正比，亦即與一次游子對的數目成正比。由於 α 質點、質子及 β 質點的游離作用強度不同，故利用此種游離室，從游離電流之觀測，則能區分或計數此諸質點。此項設備特稱爲比例計數器。

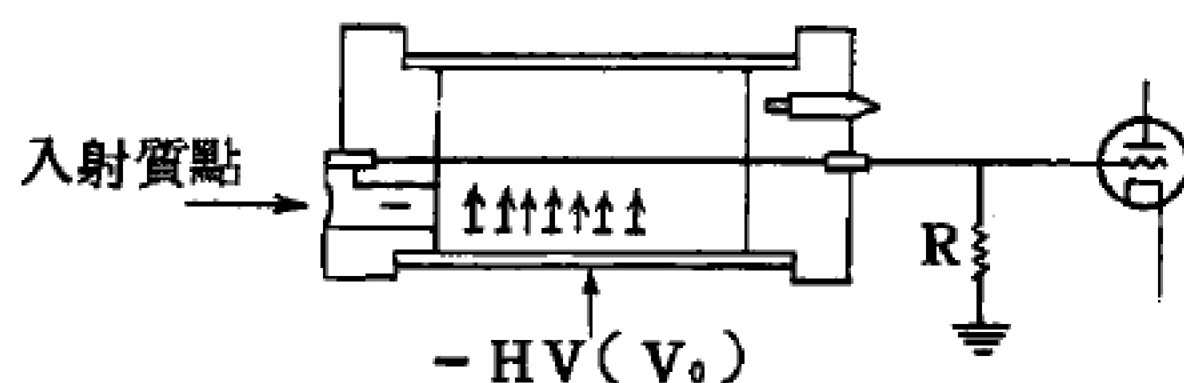


圖 4 — 238

習用的計數器爲一圓柱狀，如圖 4 — 238所示，其中有一直徑爲 0.1 毫米～0.3毫米

纖細順軸之導線，用作陽極；而以一同心金屬空圓柱，用作陰極；管內裝以氣體氬（ Ar ）或甲烷（ CH_4 ）或是氫（ H_2 ），若裝以氬與甲烷之混合氣則更佳，管內之氣壓在10～76厘米水銀柱之範圍。若空圓柱半徑爲6厘米，用作陽極之細線的半徑爲 a 厘米，細線與空圓柱之電位差爲 V 伏特時，則離計數器軸 r 厘米（ $a<r<b$ ）處之電場強度可寫爲：

$$E(r)=\frac{V}{r\log\frac{b}{a}} \text{ 伏特/厘米}$$

如此式所示，愈接近細線之處，電場強度則愈強，在細線之鄰近處爲最強。例如在 $V=1,000$ 伏特，$a=4\times10^{-3}$ 厘米，$b=1$ 厘米之情況，在空圓柱附近（ $r=1$ 厘米）之電場強度爲181伏特厘米$^{-1}$；在細線附近（ $r=4\times10^{-3}$ 厘米）之電場強度則爲 4.52×10^4 伏特厘米$^{-1}$。於是，奔向細線的電子，在挨近細線時，即惹起電子崩，以致游離室中之游離電流增大。普通比例計數器之外加電壓，係在滿足 $\gamma n\leqslant1$ 的範圍，M 約爲100。若管內盛以氬（ Ar ）與乙醇（ C_2H_5OH ）之混合氣，氣體放大率 M 則可增至 $M=10^3\sim10^4$。此種計數器，可藉氣體放電，將一次游子流放大；故其放大器，可採用較游離計數器之放大器爲簡單者，此爲此種計數器之優點。

比例計數器對 α 粒子有獨特的選擇能力，尤其所加的電壓在1,000～1,200伏特的範圍內，能完全選擇 α 粒子，摒棄 β 粒子與 γ 輻射。因此，通常我們僅用比例計數器，偵檢 α 粒子。

【比重】（Specific gravity）

除氣體外，任何物質某體積的重量，和攝氏4度時同體積的水重量相比，稱爲該物質的比重。物質的重量和其質量成正比，則其單位體積的重量，必和其密度成正比，所以任何物質的比重，又等於該物質和水

在攝氏 4°的密度相比。列式如下：

$$物質的比重=\frac{物質某體積的重量}{水在攝氏4度時同體積的重量}$$

$$=\frac{物質的密度}{水在攝氏4度時的密度}$$

氣體以外各種物質的比重皆以水爲共同標準，而用 *C.G.S.* 單位制時，水的密度在攝氏4度時適等於 $1\frac{克}{立方厘米}$，故物質的比重常和其密度的數值相等。惟密度須以$\frac{克}{立方厘米}$爲單位，比重則僅爲純粹的數字，所以意義上絕不相同。簡言之，即是一單位容積物質和同一單位水的相對密度。若水的密度每立方厘米（ cm^3 ）重一克（ *gram* ），汽油每立方厘米重 0.75 克，則汽油的比重爲 0.75 。比重是一種比例，可用數字代表之。又如鐵每立方厘米之重量爲 7.86 克，因此鐵之比重爲 7.86 。

如果有二種可以互相混合的液體，如同酒精與水，需要比較雙方的比重，則我們可以使用如圖 4—239所示的儀器裝置。在這個裝置中，有二個 *U* 形的彎管，由另外一根管子將其互相接通。*G* 是一個橡皮球，*H* 是一個開關，將其轉動後，可使連通管或與外界空氣相接觸，或與橡皮球相連通。第一步，先將每一個 *U* 形彎管，注入一種液體，於是，每一個彎管中的左右雙方的液面便會取得相等的高度（圖 4—239 (*a*)）。如果現在將預先已經稍有壓縮的橡皮球，與連通管相接，則

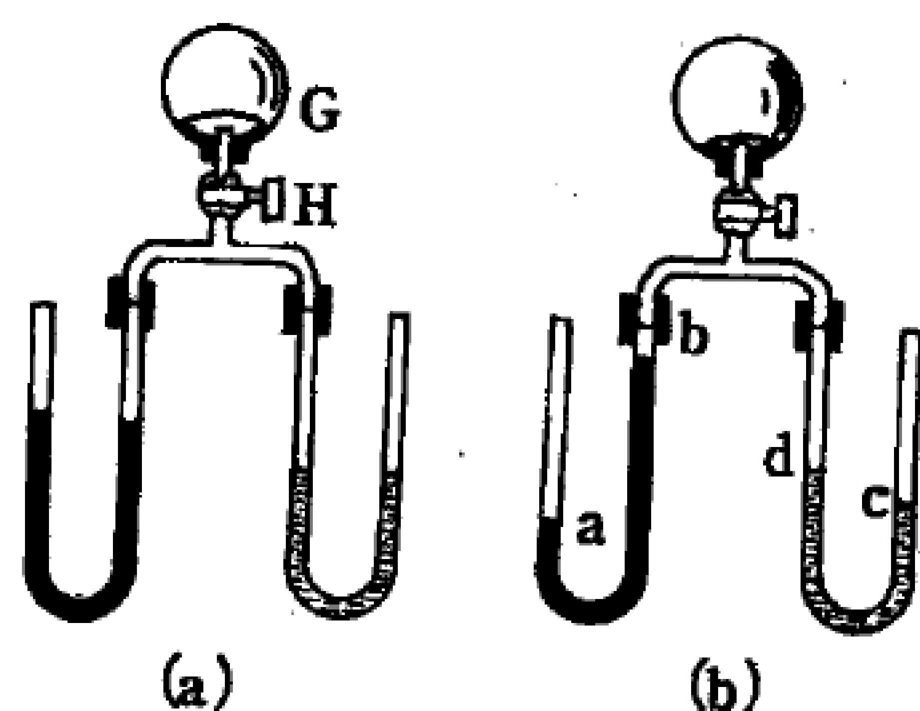


圖 4—239
在二個U形彎管中的二種可以混合的液體

我們可從U形彎管與連通管相接之管口，抽出少許空氣，換言之，就是我們可在其中造成一種較低之空氣壓力，其結果即足以使外界的空氣壓力，將開放管口中之液體，壓下少許（圖4—239(b)）。此時二個U形管中的內外二管口之間的壓力差，乃係相等。換言之，即在每一個外側管口中的外界空氣壓力，必須與內側管口中的液柱，加上內側管口中的較低的空氣壓力，保持平衡，同時又因爲後者的壓力，在雙方管口中均各相等，所以在二個內側管口中的二種液柱上，亦必作用著同樣的以$\frac{\text{仟克}}{\text{平方厘米}}$所表示的壓力。於是，我們又可以再回到以前的這一個關係：

左方液柱高度ab×左方液體比重＝右方液柱高度cd×右方液體比重

如果已知其中之一的比重，則根據量得的液壓高度，便可如上所述，算出其他一種液體的比重。液體的液壓高度與其比重成反比。這就是說，比重較小的液體，其液壓高度，必較比重較大的液體爲高。如果液壓高度之比爲1與2之比（譬如說，10厘米與20厘米之比），則其比重即爲2與1之比（譬如說，2.6與1.3之比）。

固體與液體受熱則大都膨脹，所以其比重也就變得較小。設G爲一物體在溫度變化下而仍維持不變之絕對重量，v_0與v_t以及s_0與s_t，爲該物體在0°與t°C時所具有之體積及比重，則

$$s_0 = G/v_0$$

及

$$s_t = G/v_t$$

將二式相除，則得

$$s_0 : s_t = v_t : v_0$$

於是

$$s_t = s_0 v_0 / v_t$$

但$v_t = v_0(1+\beta t)$，其中β爲體脹係數。將求解v_t之此式

，代入求解 s_t 之上式，則

$$s_t = s_0/(1+\beta t)$$

至於各種氣體之比重，則並受壓力與溫度二者之影響。

【比重計】(Areometer)

根據物體沉入液體中所受的浮力來測定液體密度的儀器，又名浮秤。它是一個玻璃管子，下面部分比較重，上面部分具有刻度(從外形看，有些像溫度表)。比重計放入液體中時，是以垂直的位置漂浮著。根據漂浮著比重計上與液體表面相符的刻度，就能直接斷定液體的密度。將酸溶液與鹼溶液用作為蓄電池中的電解液時，其密度便用比重計來測量。商業上測量牛乳、酸類、糖水等之比重，是一直接讀出比重數目的器械(如圖4—240所示)。廣泛言，凡用來量比重的儀器，統稱為比重計，如浮秤、彈簧秤、比重瓶等。因這些比重計浮在液面使用，故有由於表面張力所引起的誤差。所以後來改良成全部沈於液面下，但浮游於液中。

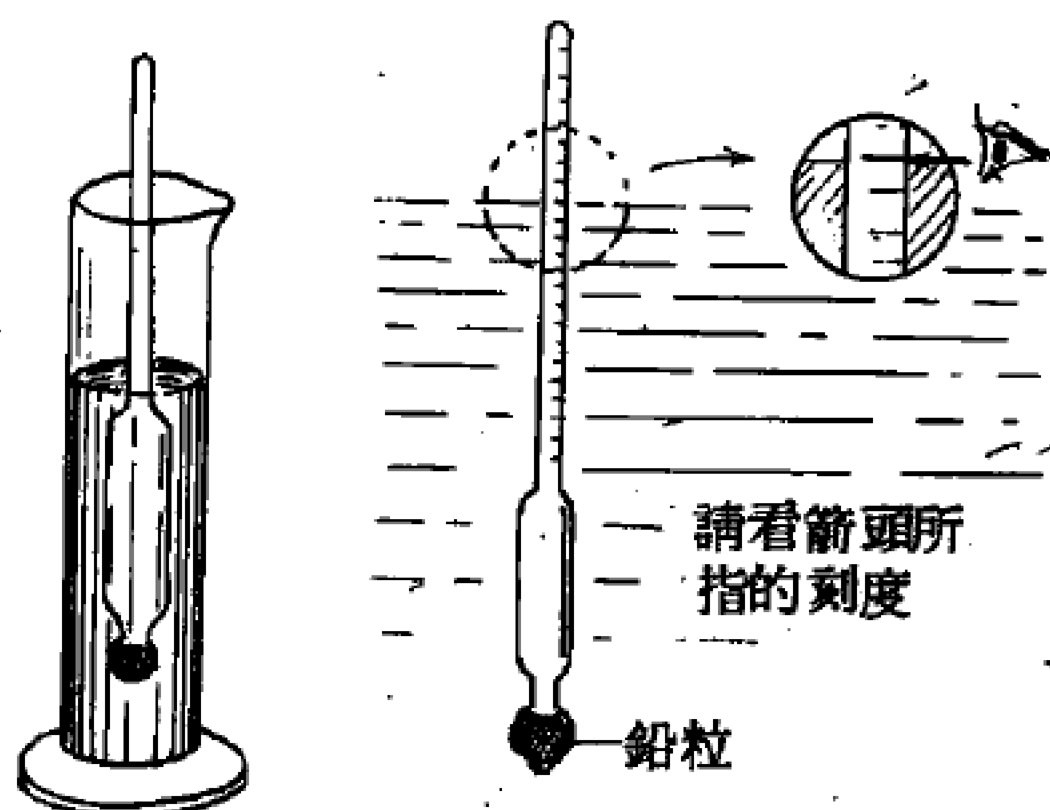


圖4—240 浮秤

【比重瓶】(Pyknometer；Specific gravity bottle)

欲測液體的比重，通常用比重瓶(如圖4—241)，先測此瓶的重量為W；然後將欲測的液體滿盛瓶內，得總重量為W_1；再將瓶內的液體傾出，以水盛滿得總重量為W_2；W_1-W和W_2-W就是同體積的液體和水的重量，故液體的比重為$\frac{W_1-W}{W_2-W}$。

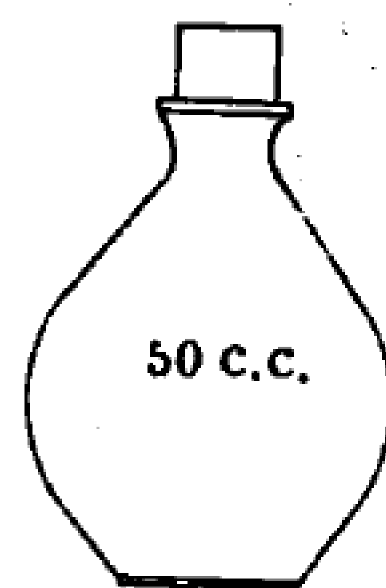


圖4—241

【比重瓶法】(Method of using specific bottle)

【Ⅰ】用比重瓶，測定粒狀或粉狀固體之比重

設固體粉末之重量爲w，比重瓶內裝入粉狀固體(不溶於水)並盛滿水時之總重量爲w'。又設比重瓶僅盛蒸餾水時之重量爲w_0，則與粉狀固體同體積之水重量爲$w_0-(w'-w)$。若測定溫度$t\,°C$時之水密度爲ρ_t，則粉狀固體之體積爲$\frac{w_0-(w'-w)}{\rho_t}$，所以粉狀固體之比重$\rho$爲

$$\rho=\frac{w\rho_t}{w_0-(w'-w)}$$

但若粉狀固體溶於水時，可選用不溶此粉末之已知密度液體測定之。

【Ⅱ】用歐斯伐(*Ostwald*)比重瓶，測定液體或溶液於某溫度下之密度

單位容積內所含之質量，稱爲密度(*density*)，通常以克/厘米^{3}之單位表示之。

設比重瓶之重量爲w_0'克，比重瓶盛蒸餾水保持於某一定溫度$t\,°C$時之重量爲w_0克，盛欲測液體時爲w克，則於$t\,°C$時瓶中所盛水之重量爲w_0-w_0'克，試料液體之重量爲$w-w_0'$克。故液體之密度爲

$$\rho=\frac{w-w_0'}{w_0-w_0'}\rho_t$$

ρ_t爲水於$t\,°C$時之密度。

若要得更精確數值時，對於空氣之浮力須加以補正。

設欲測液體於$t\,°C$時之容積爲V，於空氣中之重量爲$w-w_0'$，眞正密度爲ρ_0，砝碼之密度爲δ，空氣密度爲σ，則

$$\rho_0V-\sigma V=w-w_0'-\sigma\frac{w-w_0'}{\delta}$$

又因於 $t\,^\circ C$，與欲測液體同體積之水重爲 $w_0 - w_0'$，則

$$\rho_t V - \sigma V = w_0 - w_0' - \sigma\frac{w_0 - w_0'}{\delta}$$

ρ_t 爲水於 $t\,^\circ C$ 時之密度。

以兩式相除： $\dfrac{\rho_0 - \sigma}{\rho_t - \sigma} = \dfrac{w - w_0'}{w_0 - w_0'}$

$$\therefore \rho_0 = \frac{w - w_0'}{w_0 - w_0'}\rho_t + \sigma - \sigma\frac{w - w_0'}{w_0 - w_0'} = \rho + \sigma\left(1 - \frac{w - w_0'}{w_0 - w_0'}\right)$$

$$= \rho + \sigma\left(1 - \frac{\rho}{\rho_t}\right)$$

上式中空氣之密度 $\sigma = 0.0012$ 克/厘米^3 。

【比率檢波器】(Ratio detector)

比率檢波器是一個相移鑑頻器的變形，此檢波器對輸入載波振幅的變化毫無影響，所以不需加限制器電路，就可達到對頻率調變載波的檢波目的，基本電路可看圖 4 — 242，此電路與相移鑑頻器非常相似。就其對已調頻載波的檢波而言，此電路的動作方式與上述鑑頻器約相同。實際電路上僅有的差別，就是二極管 (V_1) 的兩極已經反接，因此聲頻輸出電壓則完全由一個電容器兩端引出，而非在鑑頻器兩串聯電路的兩端引出。對載波振幅的變化，由於電路的少許改變，所得效果也稍有差異。

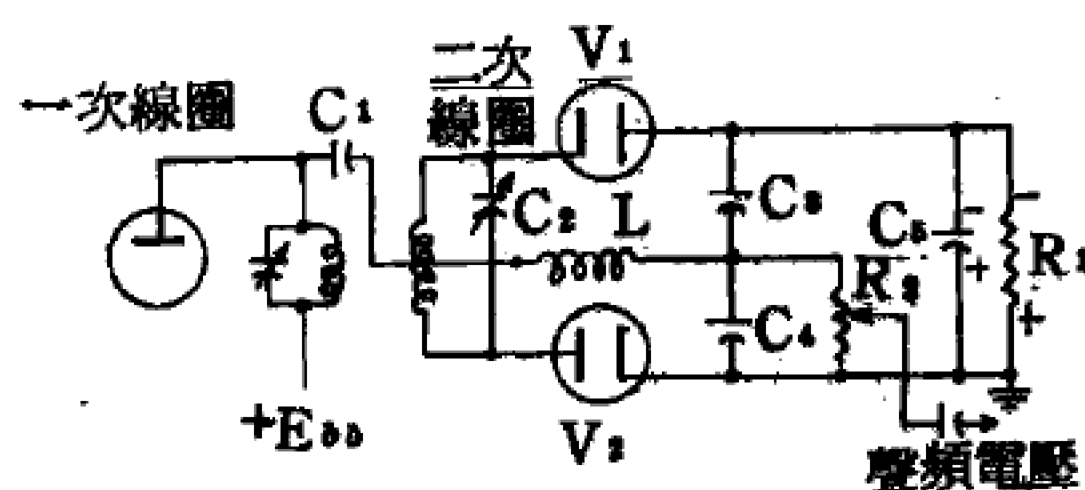


圖 4 — 242 比率檢波器基本電路

由於二極管 (V_1)的反接，當二次槽路線圈下半部分之電壓爲正時，兩二極管都同時在射頻載波之正半週時導電。電流則沿兩串聯的二極管、電阻 (R_1) 及二次槽路線圈而流，在電阻 (R_1) 兩端所產生的電

壓降，其極性可看圖4—242。端電壓使電容器（C_5）充電達一峯值電壓，電容器（C_1）的電容數相當大；因此能在射頻載波負半週，二極管不導電時，仍能維持電阻（R_1）兩端原有的電壓。有已調頻載波輸入時，由兩二極管所整流，不相等的兩輸出電壓呈現於電容器（C_3及C_4）的兩端。由於電容器（C_3及C_4）串聯，並跨接於電容器（C_5及C_4）端電壓的和必與電容器（C_5）兩端相同，與電容器間的比率無關。由於電容器（C_3及C_4）兩端電壓的和也與電阻（R_1）兩端電壓相同，並且恆定不變，所以端電壓的振幅毫無變動。但是兩二極管輸出電壓的比率則已隨調頻載波之瞬時頻率而變，因此聲頻輸出電壓不能從電阻（R_1）兩端引出（由於其恆定不變），必需從電容器（C_3及C_4）兩者之一的兩端輸出，見圖4—242所示。此亦即調頻接收機之檢波器的原理。

【比提克、布里治曼方程式】（Beattic-Bridgeman equation）

對於物質壓力、體積與溫度之間的關係，除了理想氣體方程式之外，最常見者之一爲比提克、布里治曼方程式。

$$P=\frac{RT(1-\varepsilon)}{v^2}(v+B)-\frac{A}{v^2},$$

$$A=A_0\left(1-\frac{a}{v}\right)\qquad B=B_0\left(1-\frac{b}{v}\right)\qquad \varepsilon=\frac{c}{vT^3}$$

a,b,c，A_0及B_0 均爲參數，可由實驗決定。由於未定係數多，故上式可廣泛地適用於三相點以上之狀態，只是運用時麻煩些。其次如范得瓦方程式（*Van der Waals' equation*）

$$\left(P+\frac{a}{v^2}\right)(v-b)=RT$$

a，b 爲常數，R爲理想氣體常數。這個方程式可同時適用於液體區、蒸氣區及臨界點附近。

【比較生物效應】（Relative biological effectiveness；

rbe)

rbe 是一種用來比較各種游離輻射所產生的生物效應的因數。它是產生某種指定效應所需的輻射吸收量和產生同等效應所需的標準輻射量的反比。比較生物效應劑量（單位 *rem* ）＝比較生物效應（ *rbe* ）×吸收劑量（單位 *rad* ）。雷得（ *rad* ）是游離吸收劑量最基本單位。一雷得的劑量是指每克物質吸收了100爾格的輻射能量。而侖目（ *rem* ）是產生相同生物效應的任何兩種游離輻射劑單位，和普通 *X* 射線的吸收劑量單位相同。

【比熱】（ Specific heat ）

爲流入單位質量物質之熱量與其溫度變更之比，亦即一克物質，溫度升高 1°*C* ，所需要的熱量，叫做那種物質的比熱。或一定質的物質，和同質量的水升高 1°*C* ，所需熱量的比率，稱爲該物質的比熱。又因 1 克的水升高 1°*C* ，恰需 1 卡路里（ *cal* ）的熱量，故物質的比熱，亦等於 1 克物質升高 1° 所需的卡數。因此比熱單位爲卡/克°*C*，但書寫時往往只寫出其數值罷了。例如比熱是 0.0919 的銅，這是表示 1 克的銅，溫度增加一度就須要 0.0919 卡的熱量。

$$C（比熱）=\frac{\Delta Q}{m\Delta T}$$

m 是物體的質量；ΔQ 是此物體吸收的熱量；ΔT 是吸收熱量後上升的溫度量。

比熱因物質的不同有很大的差異，就是溫度不同的相同物質也會導致比熱的不同，一般固體在低溫時比熱很小，溫度上升，比熱隨著上升得很快，在常溫時暫停留在某一值，然後再繼續隨溫度升高，如圖 4 — 243，最後在比熱曲線上會有突然斷裂或不連續的現象發生。

增加某種物質的溫度所必需的熱量，可由下列公式求出：

熱量（ *cal* ）＝比熱（ *cal* /*g* 度）×重量（ *g* ）×增加溫度（度）

若以數學式子表示，則質量m之物體，其材料之比熱為C，溫度從T_i增至T_f所需之熱量應為

$$Q = m\int_{T_i}^{T_f} C\,dT$$

C為溫度之函數。在平常溫度和平常溫度區間內，可視比熱為常數。

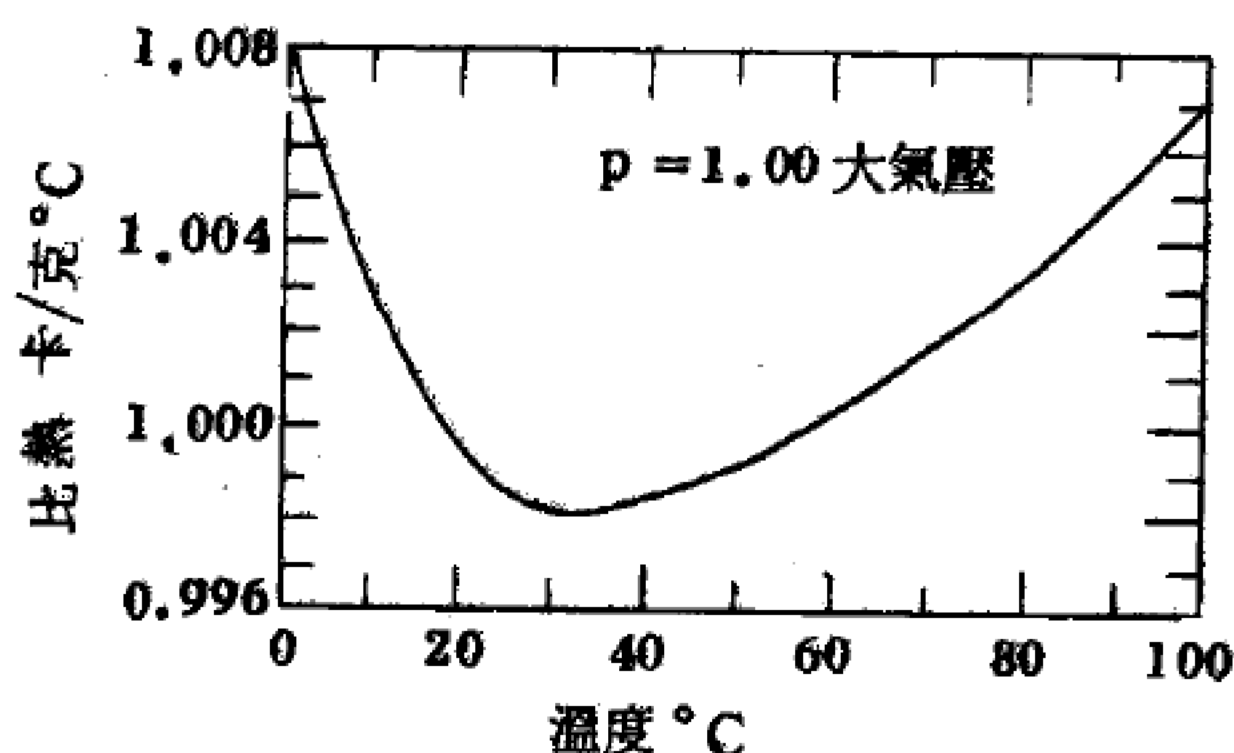


圖 4 — 243
壓力為一大氣壓時，水的比熱隨溫度變化的情形

上述定義比熱並不完全，尚須規定加熱量ΔQ於樣品之情況。已暗示加熱時樣品保持在正常（不變）大氣壓力，此為通常情況，另有其他可能性。一般而言，每一可能性均導致不同之C值。如得唯一之C值，必須規定情況，如定壓時之比熱C_p，定容時之比熱C_v等。尤其在氣體時，這兩種比熱的差別更明顯。對於理想氣體，其間關係為$C_p = C_v + \frac{R}{M}$，其中R為氣體常數，M為分子量。

對氣體的定容比熱和定壓比熱均可直接測量，但對固體、液體則只能測量定壓比熱，而C_v須從熱力學關係

$$C_p - C_v = TV\alpha^2/\beta$$

求出，式中α為熱膨脹係數，β為壓縮率，V為體積，T為絕對溫度。

比熱和潛熱的測定是熱力學研究工作的一部分，它告訴我們原子和分子間引力的自然性質，與原子在固體、液體、氣體中之排列和運動的情形（圖 4 — 244）。

在離絕對零度僅 5 度或 10 度內的低溫下，物質內部只存有少數的原子在運動，大部分物質的比熱都已很明顯地趨近於零。然而，仍有很少類的物質，在溫度降至 10 °K或比 1 °K 更低時，比熱曲線會再度上

升，這種比熱曲線的突起，通常由圍繞在原子核四周之電子的運動和自旋（*spin*）所形成之微弱自然磁場間的相互作用所引起，當溫度降得更低時，原子核所帶的磁性也隨著變得更小。

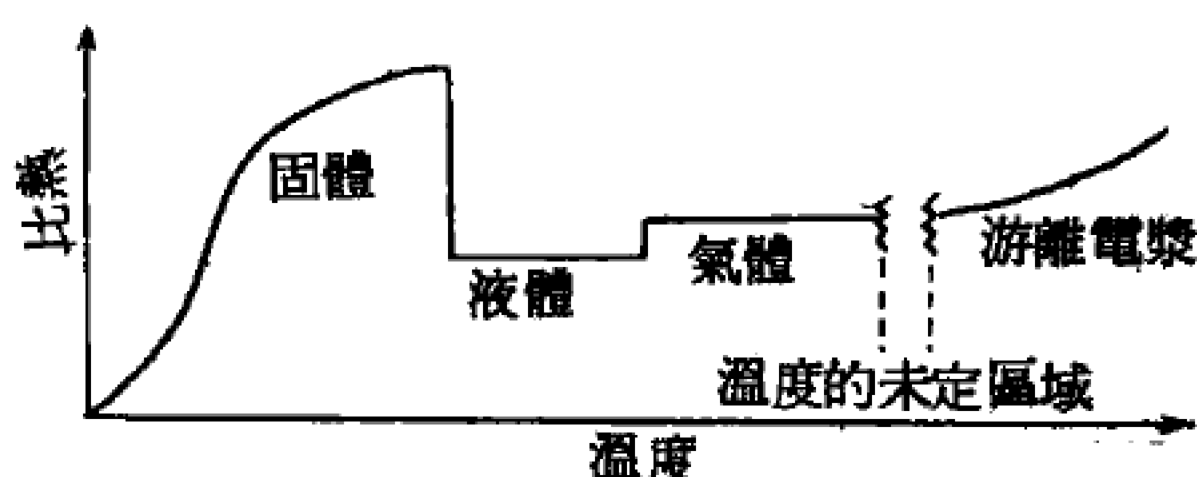


圖 4 — 244

具有代表性的物質之比熱和溫度變化關係，注意那突然斷裂發生在相的轉變處，此圖並不表示在相的轉變處之潛熱改變量的大小。

站在原子的立場而言，導致固體的比熱主要原因為：

1. 晶格點的振動（即原子的振動）——因溫度昇高，原子的振動加遽，故需要外界供給能量。

2. 原子核外層自由電子的運動——通常此項能量小於 1 *eV*，故對比熱之貢獻遠遜於原子的熱振動。

由實驗結果知，當溫度次第由絕對零度上昇時，比熱亦從零急驟增加，最後就近乎常值，趨近 6 卡／克分子，不過像鐵（*Fe*）、鈷（*Co*）、鎳（*Ni*）等的鐵磁物質，當溫度抵達居里溫度（*Curie temperature*）（即從鐵磁性轉變為順磁性之臨界溫度），以後比熱造成不正常的峯（*peak*）（如圖 4—245），這種不尋常的高峯在合金的情形亦然，當合金從有次序的排列轉變到無次序之排列時，也有相同的現象發生，這種轉變稱為相的轉變。

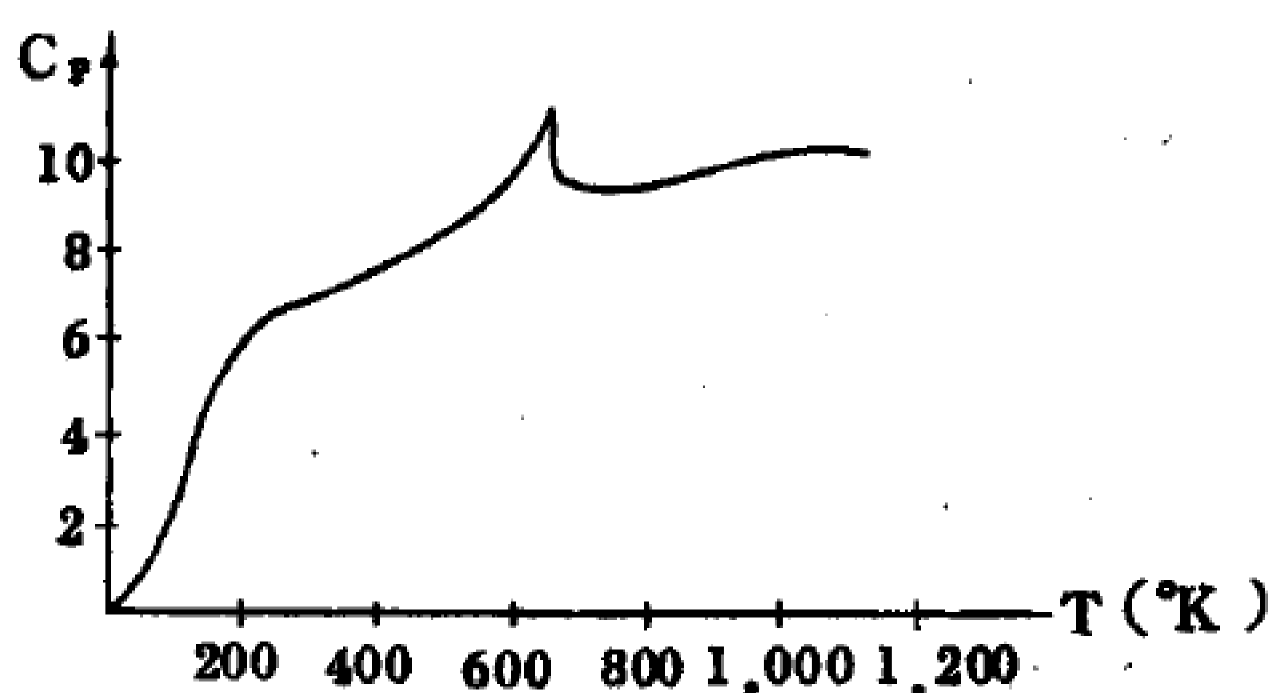


圖 4 — 245　鎳的比熱 - 溫度變化

首先讓我們研究熱振動所產生的比熱。原子的振動，當然是三維空間的問題，如果它具有無向性（*isotropic*），則問題可以被化簡而只

討論一個自由度，亦即研究一個方向的運動。假設N個原子，等距離地排成一線，只允許一個方向的運動，由於外在的因素，促使原子離開其平衡的位置，當這外在的因素消失時，如果原子之位移遠小於原子間之平衡距離，則原子即以平衡位置爲中心作簡諧運動。換言之，晶格的振動能量，就相當於N個簡諧振盪器的振動能量。因此，原子如果做三維空間的振動，並且又是無向的，則全部的振動能量就相當於3N個簡諧振盪器的振動能量。比熱問題牽涉到固體中原子的振盪形態，亦即振盪時的頻率及波長。由於各種假設模型對此3N個振盪器之振盪頻率的分配觀點不同，致使推導出來的比熱也各不相等，因此有賴於實際從實驗觀測，以便驗證。爲了有系統的討論，我們依照歷史的發展，分別研究各種模型。

【Ⅰ】從古典統計力學的觀點而言

如果簡諧振盪器的自然角頻率（*natural angular frequency*）爲ω，動量（*momentum*）爲p，此振盪器的總能量可被寫成

$$\varepsilon = p^2/2m + m\omega^2 q^2/2 .$$

如果依照古典統計力學的結果——波茲曼分佈（*Boltzmann distribution*），這振盪器的平均能量是

$$\langle\varepsilon\rangle = \int_0^\infty \varepsilon e^{-\varepsilon/kT}\, d\varepsilon \int_0^\infty e^{-\varepsilon/kT}\, d\varepsilon = kT$$

k是波茲曼常數（*Boltzmann's constant*），T爲絕對溫度。式中並無頻率之出現，因此N個原子的振動能量等於

$$U = 3N\langle\varepsilon\rangle = 3NkT \qquad (1)$$

如果固體只有一種原子，而N_0爲亞弗加厥數（*Avogadro number*），從（1）式知克分子比熱爲

$$C_v = 3N_0k = 3R = 5.96\ (cal/°K\cdot mole) \qquad (2)$$

R是氣體常數。此即杜隆和泊替（*Dulong and Petit*）的比熱理論。

這個結果在高溫時，與實驗非常符合，然而不能解釋，固體在低溫的現象，一般固體在低溫時，比熱會急速地減少（ $\sim T^3$ ）， 這正是古典力學及古典統計力學的缺點，只有靠著量子理論的解釋，才能獲得解決。

【Ⅱ】愛因斯坦（ *Einstein* ）的比熱理論

愛因斯坦不但認爲 N 個原子之固體可用 3 N 個簡諧振盪器代表，而且由於任意原子的周圍，情況大致相同，因此假定這些振盪器都具有相同的頻率 ν ，換言之，3 N 個簡諧振盪器都具有相同頻率 ν ，不過在計算平均能量時，他並不認爲能量是連續的，而採用 1900 年浦朗克由於對黑體輻射能的研究，所提出能量量子化的理論。換言之，一簡諧振盪器所發出的能量，並不是連續的能譜，而只是某些特殊的能量而已（量子化的能量），而這些可能的能階可被寫成

$$\varepsilon_n = nh\nu \qquad n = 0,\ 1,\ 2,\ 3,\ \cdots$$

h 是浦朗克常數。用類似前面的方法，其平均能量必需被重寫爲

$$\langle\varepsilon\rangle = \sum_{n=0}^{\infty} nh\nu e^{-nh\nu/kT} \Big/ \sum_{n=0}^{\infty} e^{-nh\nu/kT}$$

$$= -\frac{1}{\sum\limits_{n=0}^{\infty} e^{-nh\nu/kT}} \cdot \frac{\partial}{\partial\left(\frac{1}{kT}\right)} \left\{\sum_{n=0}^{\infty} e^{-nh\nu/kT}\right\}$$

$$= -\frac{\partial}{\partial\left(\frac{1}{kT}\right)} \log\left(\sum_{n=0}^{\infty} e^{-nh\nu/kT}\right)$$

$$= -\frac{\partial}{\partial\left(\frac{1}{kT}\right)} \log\left(\frac{1}{1-e^{-h\nu/kT}}\right) = \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT}-1}$$

因此振動能及克分子比熱爲

$$U = 3N\langle\varepsilon\rangle = \frac{3Nh\nu}{e^{h\nu/kT}-1}$$

$$C_v=\frac{\partial U}{\partial T}=3R\left(\frac{h\nu}{kT}\right)^2\frac{e^{h\nu/kT}}{\left(e^{h\nu/kT}-1\right)^2} \qquad (3)$$

（$N=N_0$，亞弗加厥數）當溫度很高時（$kT\gg h\nu$），（3）式接近於（2）式的結果。不過在低溫時$C_v\sim e^{-h\nu/kT}$，此實驗值$C_v\sim T^3$過分低估，這個缺點應該歸咎於愛因斯坦模型，對頻率分佈的假定太簡單了。實際上，N個原子彼此互相影響，因此3N個簡諧振盪器的頻率不會相等。

【比影光度計】（Shadow photometer）

冉福得（*Count Rumford*）首創。用以比較二光源對於同一物體所生兩影之明暗，而測知其強度之比，再定出二光源之強度。

如圖4—246，MN為垂直之無光白紙幕，R為一圓柱，I_1, I_2為二光源，S_1，S_2為二光源在幕上所成之影。調整二光源與紙幕之距離，使S_1與S_2之亮度相等（其照度此時因同在一紙幕上故亦相等）。

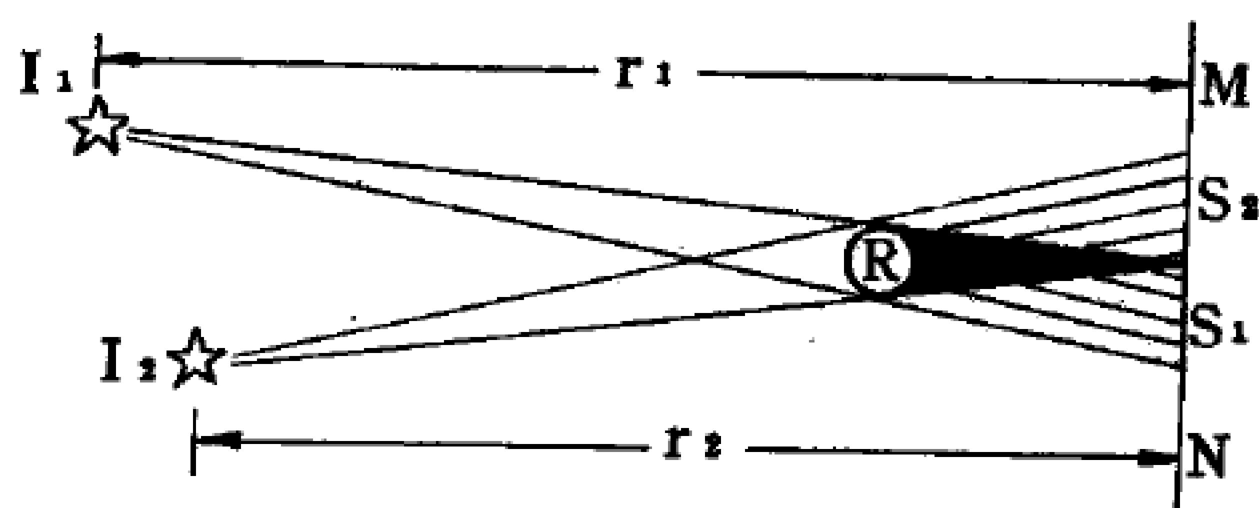


圖4－246

$$\therefore\ \frac{I_1}{r_1^2}=\frac{I_2}{r_2^2}\qquad 即\ \frac{I_1}{I_2}=\frac{r_1^2}{r_2^2}$$

故量出r_1與r_2之值即可得兩光源的強度比（$\frac{I_1}{I_2}$）。

【毛細現象】（Capillary phenomena）

如圖4—247，在一個空瓶的上方架一根火柴，火柴折成“V”形但仍未斷成兩截。將一枚硬幣置於火柴之上。現在你可以考一考別人，看其是否能夠使硬幣落入瓶中而不准碰到硬幣、火柴或者瓶子。其實這方法很簡單，只要將手指浸入水中，取出後讓水滴滴落在火柴被折的地

方。木質纖維就能藉毛細管現象吸收水分而漸漸腫脹，於是火柴的兩段開始分開，“ V ”漸漸張開，最後兩端離得太開，不能再支持硬幣，它自動地落入瓶中。

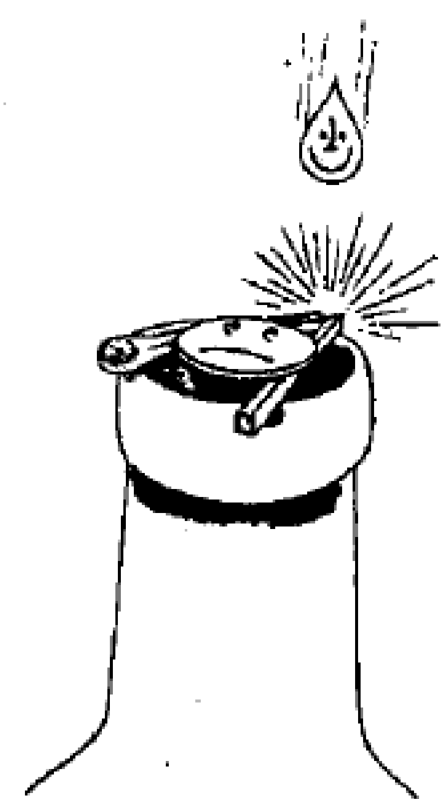


圖 4 — 247

在日常生活中，我們利用到毛細現象的地方不可勝數，吸水紙、棉花、手巾、燭芯、煤油燈芯等等的吸取液體的作用都是靠毛細現象。還有植物從地下吸取水分也是如此。古埃及人利用木楔打入石縫，然後利用灌水使木楔吸收水分而腫脹，石頭也因此迸裂成所需要的塊狀。當搬進大石塊的繩索拉得太緊時，他們就在其上灑水，使繩索收縮而將幾噸的石塊提起。

假如你要出外旅行一段日子，擔心花園裏的花草水分不夠，可以利用棉線水管，找一個大小合適的水盆或水桶放在花草附近。在水盆與花草之間連一些棉線，它們將慢慢地自動灑水。這是利用棉線的毛細現象。假如將一支細玻璃管或細吸管放入水中，水將在管內昇高一點（而且管壁邊的水要比當中部分高），如圖 4 — 248。這是因為玻璃的分子與水分的分子互相吸引而產生。管愈細，因毛細現象上昇的水愈高。棉花含有許多很細的管子，所以能夠吸水或者其他液體。煤油爐就靠它吸煤油。蠟燭的燭芯也吸起融化的蠟油。吸墨紙吸墨水，毛巾、手帕吸水完全都是靠這種毛細現象。

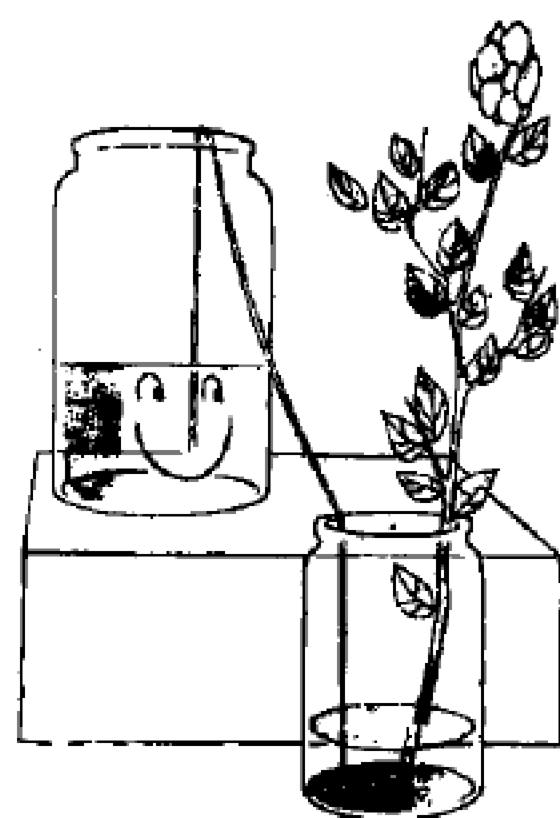


圖 4 — 248

大自然給了我們一個有關毛細現象最佳的例子。植物能從泥土裏攝取水分就是因為在根、莖、枝桿裏許多微細的毛細管的吸收作用。

糖的毛細現象非常有趣。將一塊方糖的一角浸入咖啡或茶裏，液體馬上就升了起來浸濕了其他部分。

上述皆係一般常見之毛細現象，其原理詳述於"毛細管現象"條中。

參閱"毛細管現象（*Capillary tube phenomena*）"條。

【毛細管】（Capillary tube）

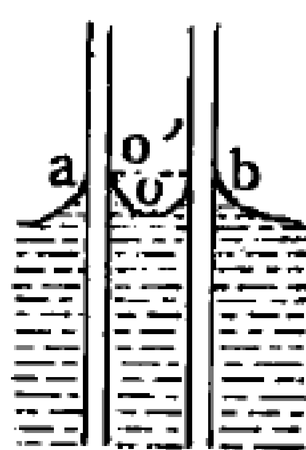
內徑極小之管，謂之毛細管或稱毛管。

【毛細管引力】（Capillary attraction）

因毛細現象作用，置細管於液體中，能將液體引上或引下之力，謂之毛細管引力，或稱毛管引力。

【毛細管現象】（Capillary tube phenomena）

將兩端開口而內徑較小之管插入於液體之中，則管中液面即有上升或下降之現象，稱爲毛細管現象。凡液體的分子和毛細管的分子，其附著力比內聚力爲大時，則毛細管內周圍的液面比中央爲高，而呈凹面，如圖 4 — 249 中的 aob 。同時表面張力須縮小液面的面積，由凹面而成平面 $ao'b$。成平面後，附著力立刻又使得液面變成凹面，表面張力再次收縮爲平面，液面因而上升。繼續作用，直至 aob 凹面的張力和下面液柱 $amnb$ 的重量成平衡的時候，液體纔不再上升。又如圖 4 — 250 液體各分子的內聚力比和毛細管分子的附著力爲大，則成凸面。凸面的表面張力和內聚力的作用，因同樣的理由，到 aob 面必在管內下降，至管外 h 深度的液重施於 o 點上的壓力和 aob 面伸平的表面張力成平衡時而止。設管內外的液面高度差爲 h，管半徑爲 r，液體密度爲 ρ，表面張力爲 T，接觸角爲 θ，則



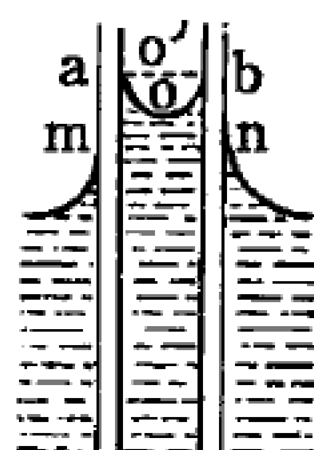


圖 4 — 249
毛細管內液體的上升

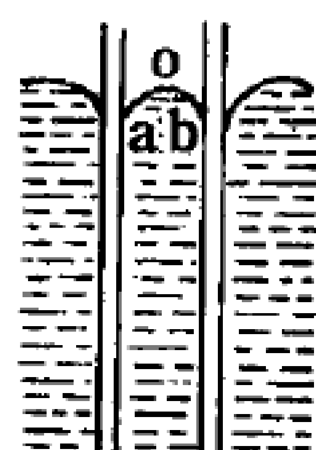


圖 4 — 250
毛細管內液體的降下

$$h = \frac{2T\cos\theta}{r\rho g}$$

式中g爲重力加速度。此即爲久倫定律。

一般常見的毛細管現象之例有：

1.水或液體會沿著纖維上升。

(1)酒精燈裏的酒精，沿燈芯上升。

(2)燃燒著的蠟燭，可以看出熔解了的蠟會沿著燭芯，往上升。

(3)吸水紙會吸水。

(4)抹布或報紙等吸水。

(5)毛筆會吸墨水。

2.水或油會滲入細縫裏。

(1)墨水會由鋼筆的筆尖細縫出來。

(2)地下水由地下往地表面滲濕出來。

(3)在玻璃瓶蓋或金屬與金屬的接縫點油時，油會滲入。

下面以流體靜力學分析毛細管現象。

在同類的分子間，因可以有分子力的存在，稱爲內聚力(*cohesive force*)。異類分子間也有分子力相作用，稱爲附著力(*adhesive force*)。在圖4—251中，θ角稱爲接觸角(*angle of contact*)，它的大小由內聚力與附著力的比值而定。就作用於表面的分子而言；內聚力和附著力的合力必然是沿著表面的法線方向；因爲只有壓力可以平衡這個合力，而壓力就是沿著法線方向。水的內聚力

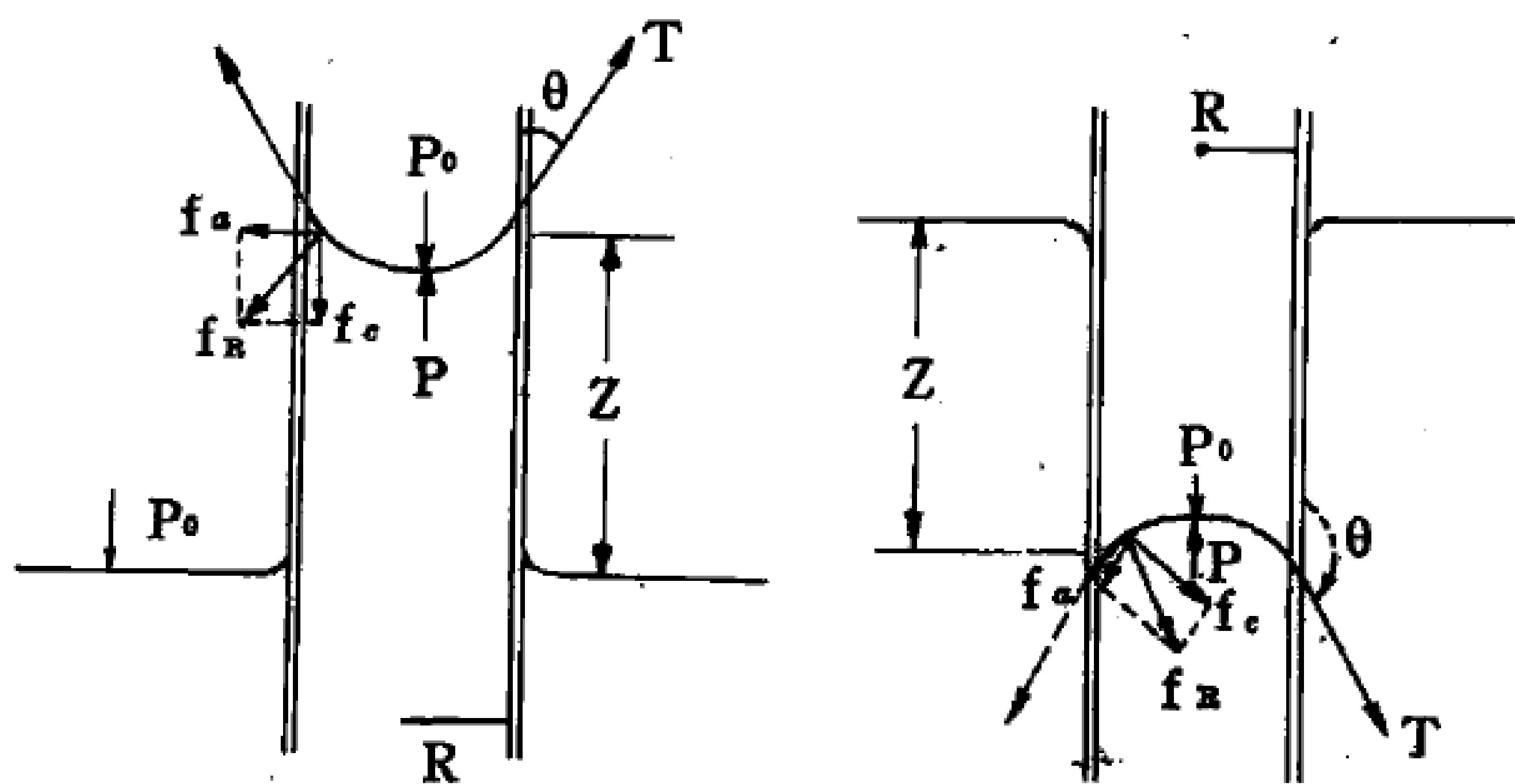


圖4—251　表面張力與毛細現象

比水與玻璃的附著力小，所以形成凹面；水銀的內聚力比它與玻璃的附著力還大，因此，形成凸面。

至於管內液面的升降高度 h，我們可以利用表面張力和壓力差來計算。對管外表面液體而論，其平衡條件爲

$$2\pi RT\cos\theta'=\int(P_0-P)\,dS_z=(P_0-P)\pi R^2$$

R爲管的半徑。又知在靜止流體裏

$$P_0-P=\rho gz$$

ρ爲液體的密度，所以

$$z=\frac{2\pi RT\cos\theta}{\pi R^2\rho g}=\frac{2T\cos\theta}{\rho g}\frac{1}{R}$$

如果，θ 大於$\frac{\pi}{2}$，則 z 爲負值，表示管內液面較管外爲低，由上式，可見 R愈小，則 z 愈大。

【毛細管效應】（Capillary tube effect）

表面張力對液體與液體或液體與氣體交面上發生特殊效應。如有三不可混合之液體接觸時，或兩不混合液體及一固體，或一氣體，一液體及一固體接觸面上均受表面張力（*surface tension*）之影響。在簡單之接觸面上當受干擾時有發生表面張力波（*capillary wave*）之趨向，平面之交面爲不穩定平衡，液體滴於空氣中成爲球體可視爲另一極限，球形爲穩定之形狀，三物質互相接觸時，穩定與平衡視交面上張力而定，如有剛體表面存在時，則視其濕度。

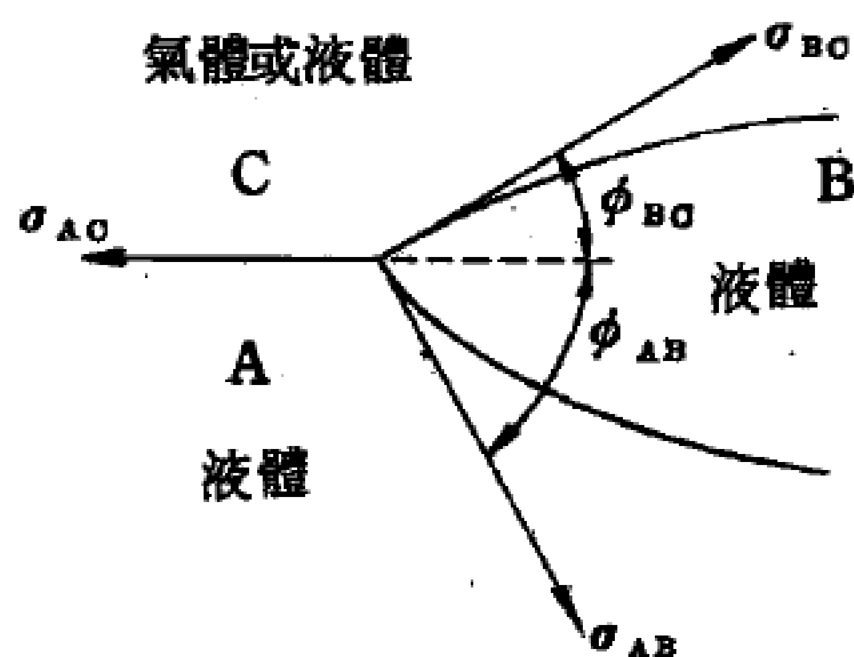


圖 4—252
不混合流體之接觸

【Ⅰ】交面上穩定透鏡

取兩不相混合液體 A及 B，與一第三流體，氣體或另一不相混合液

體C互相接觸如圖4—252所示。由平衡條件，交面之張力及接觸角須適合以下兩式：

$$\sigma_{AC}=\sigma_{AB}\cos\phi_{AB}+\sigma_{BC}\cos\phi_{BC}$$

$$\sigma_{AB}\sin\phi_{AB}=\sigma_{BC}\sin\phi_{BC}$$

此等方程式如$\sigma_{AC}<(\sigma_{AB}+\sigma_{BC})$時可以成立，此時$B$成一透鏡。如$\sigma_{AC}>(\sigma_{AB}+\sigma_{BC})$，平衡爲不可能者，液體$B$將在$A$及$C$間衝出。

【Ⅱ】固體表面之變濕

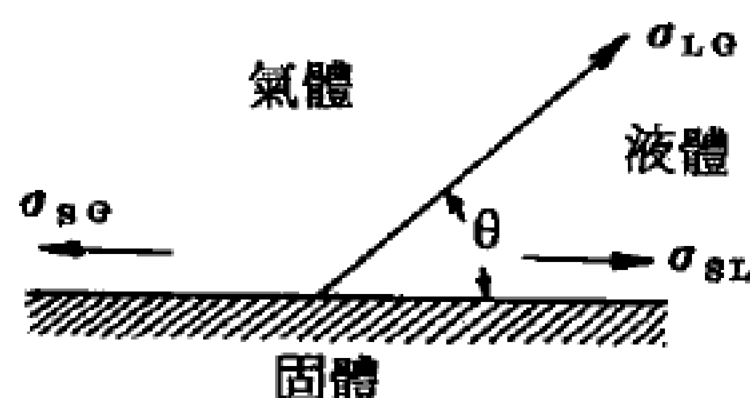


圖4—253　液—氣—固之接觸

在氣－液－固各相分界處，自由表面之形式視液體分子之凝聚力及液體與固體間附著力之相對強度而定，如固體分子對液體之親和力（*affinity*）使其表面濕潤時，固體表面稱爲親水者（*hydrophilic*）；相反時，稱爲疏水者（*hydrophobic*）。液－固－氣接觸點之接角θ（θ由固面量至液－氣面）爲濕度之計量。由圖4—253，此可證示如下：使液體與固體表面分開所須之功視各交面上之表面張力及下關係而定

W_{SL}＝分離固體與液體單位面積之功

$$=\sigma_{SG}+\sigma_{LG}-\sigma_{SL}$$

維持平衡各表面張力須適於

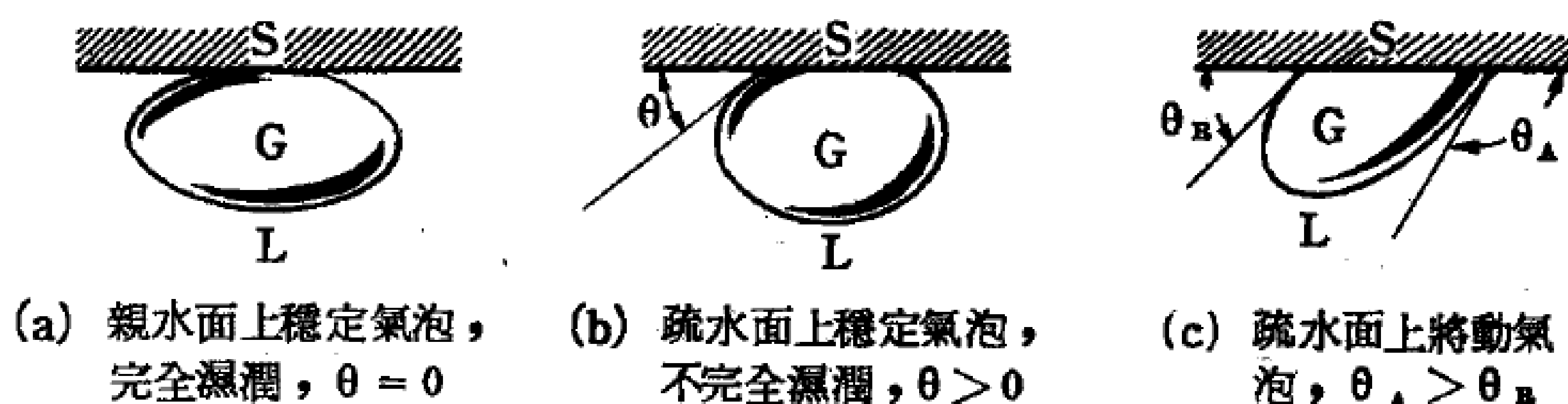
$$\sigma_{SG}=\sigma_{SL}+\sigma_{LG}\cos\theta$$

由以上兩式，可得

$$W_{SL}=\sigma_{LG}(1+\cos\theta)$$

零接角時$W_{SL}=2\sigma_{LG}$，液體對固體之吸引與對本身之吸引相等（附著等於凝聚）。當液體對固體之吸引大於自身之凝聚時，此角亦爲零。當$\theta=180°$時，即無附著力。實際上附著力永遠存在，故θ角必小於180°。故完全濕潤時，液體內之接角如圖4—254(*a*)所示爲零度。完全無濕潤時，$\theta=180°$。所有中間角度相等於不完全濕潤如圖4—254(*b*)

所示。



(a) 親水面上穩定氣泡，完全濕潤，θ = 0　(b) 疏水面上穩定氣泡，不完全濕潤，θ > 0　(c) 疏水面上將動氣泡，$\theta_A > \theta_R$

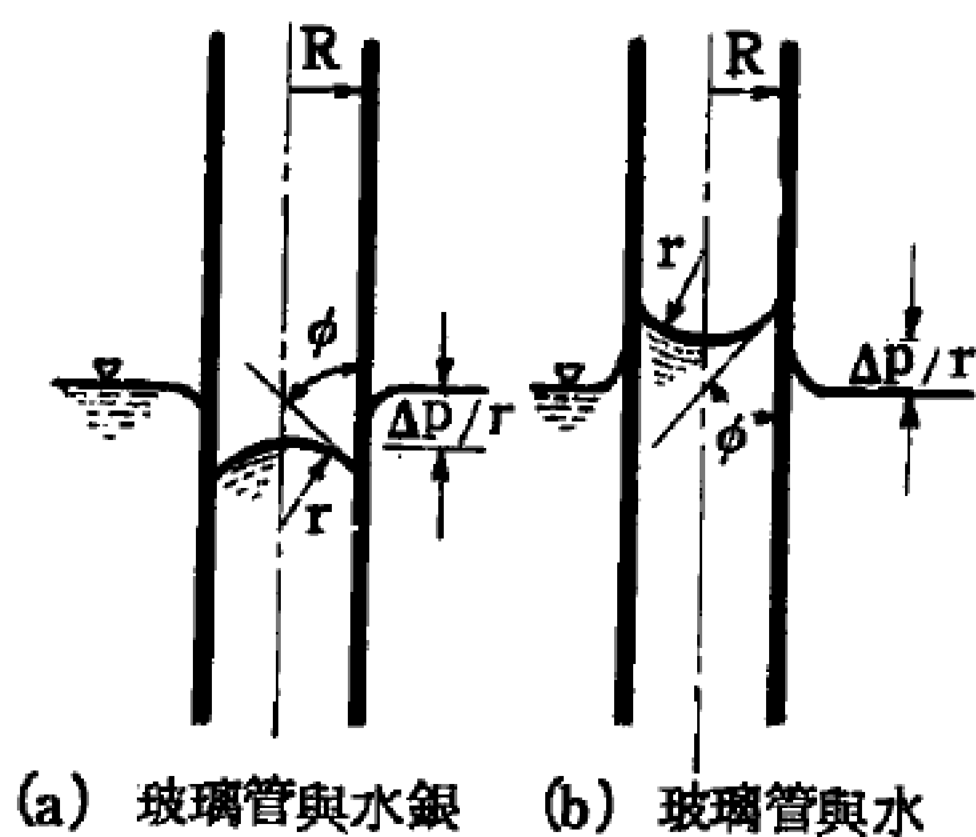
圖 4 — 254　濕潤與接角例

接角應在固一氣交面爲一極薄液膜覆蓋時測定之。如固體表面乾燥及不完全濕潤時，θ 角視液體趨於平衡時係在面上前進或後退（各得 θ_A 及 θ_R ）。如圖 4 — 254 (c)所示例，$\theta_A > \theta_R$ ，永爲正確之情況。

【 Ⅲ 】管內之毛細管

細管中液體行爲視表面張力與固體之濕潤而定。例如圖 4 — 255所示，當一玻璃管浸入水中時，管中水上升至高於靜水平，但當浸入水銀時則下陷。濕潤或不濕潤均使液體面變爲曲面。因此，表面張力使曲面生之壓力差。此壓力差可由圖 4 — 256 計算之

$$\Delta p = p_1 - p_2 = T\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$$



(a) 玻璃管與水銀　(b) 玻璃管與水

圖 4 — 255　毛細管作用

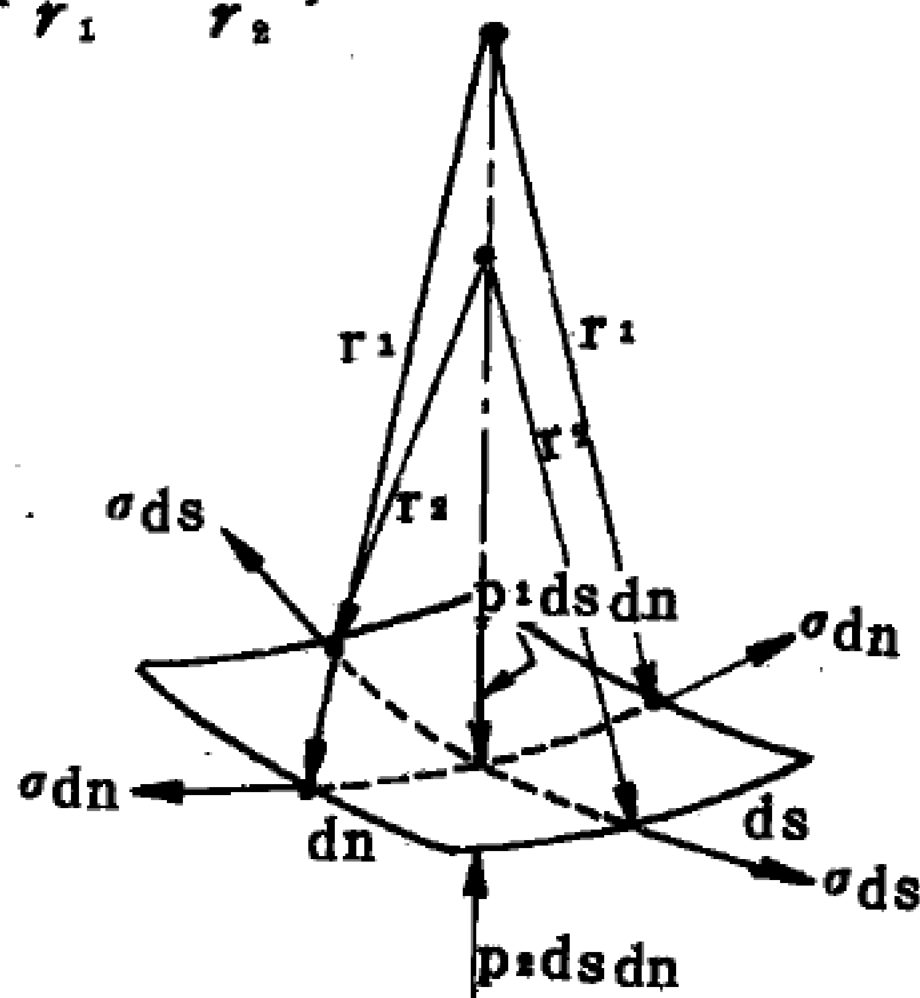


圖 4 — 256　表面張力下之平衡圖

式中

T =表面張力

r_1, r_2 =面之曲率半徑

如係圓管 $r_1 = r_2 = r$ ，r 爲彎月面（*meniscus*）之曲率半徑。如管之直徑小於0.1吋，彎月面接近球面，此時 $r = R/\cos\phi$ ， 其中 R 爲管半徑；ϕ 爲液一固接點之銳角（濕潤時，ϕ =接角 θ 如前定義，不濕潤時 ϕ 爲 θ 之補角）。因此毛細管作用之上升（或下降）爲

$$\frac{\Delta p}{r} = \frac{2T}{rR} \cos\phi$$

淨水在淨玻璃管中，ϕ（及 θ）接近於零，水銀在玻璃管中 ϕ 約爲 $50°$（θ 約爲 $130°$）。

【毛髮濕度計】（Hair hygrometer）

一種紀錄相對溫度、絕對濕度、露點和溫度的儀器（圖4—257）。其構造乃取脫脂毛髮一根，固定其一端使他端從滑車通過，連於指針，指針之末，附以砝碼，令恰與毛髮張力平衡，空氣中濕氣增加時，毛髮伸長，而令指針上旋，反是而濕氣減少，則指針下旋。故由預先校準的刻度盤上，視指針之位置，即可直接讀出當時的相對濕度。惟不甚精密。

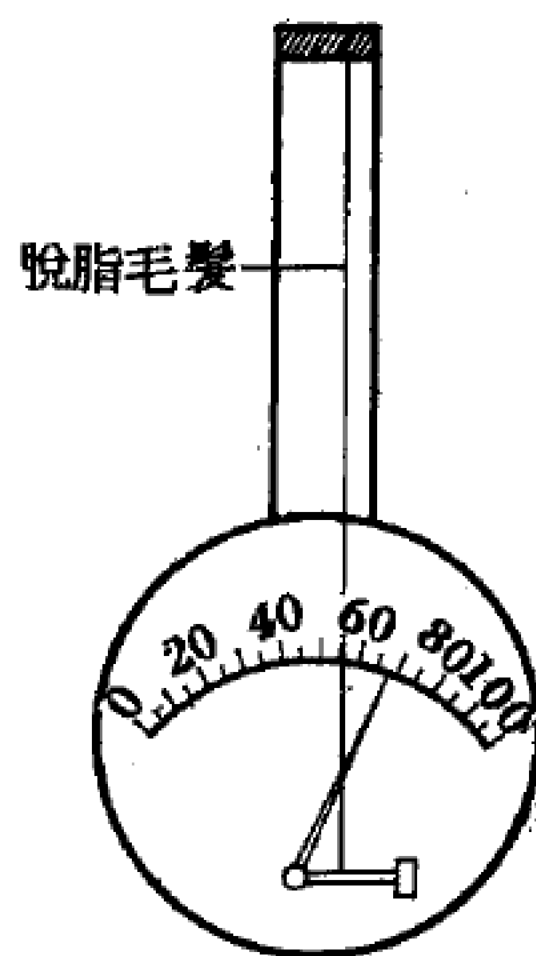


圖4—257
毛髮濕度計

【毛霖定律】（Law of Molen）

毛霖氏由實驗摩擦之結果，得定律如下：即"最大摩擦力，與兩物體間之壓力爲正比，與接觸面積之大小無關"。

【水】（Water）

水是無色、無味、無臭的液體，每一個水分子由一個氧原子和兩個氫原子結合而成，$0°C$ 時凝固，$100°C$ 時沸騰，但在常溫下也時時

蒸發而成水蒸氣，浮游於空氣中，雨、雪、雹、雲、霧、露、霜——都是水的變形。

水是最好的溶劑，在不同的情況下，甚至可以把石塊、玻璃和銅鐵等金屬溶解下來。溶有金屬氧化物，硫酸鹽或硝酸鹽者，便是所謂"硬水"。

水有儲藏大量熱能的能力，比熱比岩石大五倍，所以海洋性氣候比大陸性氣候的年溫差要小得多。以下就其幾項性質述之如下：

【 I 】體積

普通物體溫度昇高常膨脹，水則不然，水是少數物體中之一，此種物體在某一特定範圍之內，並不隨著溫度之升高而膨脹，卻反而收縮。當溫度由 0°C 增高到 4°C 時，水即收縮，一直要等到溫度再行上昇，才又開始膨脹。圖 4—258中的圖解，即顯示玻璃容器之平均膨脹，恰好與水之不規則膨脹，成為一個對照。圖中，橫坐標上是以每 2°C 溫度為一格，至於縱坐標上的數字則代表著因膨脹而增加的體積，並且是以 0°C 時體積之十萬分之一為單位的。圖中的直線顯示出玻璃容器所增加的體積，是與溫度的增高成比例，而其 0°C 時所增加的體積是與同溫度下水所增加的體積相等。圖中顯出，當溫度為 10°C 時，容器所增加之體積又剛好與水所增加的相等，而其所增加之數值約為其 0°C 時體積之 24 / 100,000倍。這樣一種的膨脹性質，相當於膨脹係數為 0.000008 的玻璃的線膨脹。0°C 時的水體積差不多

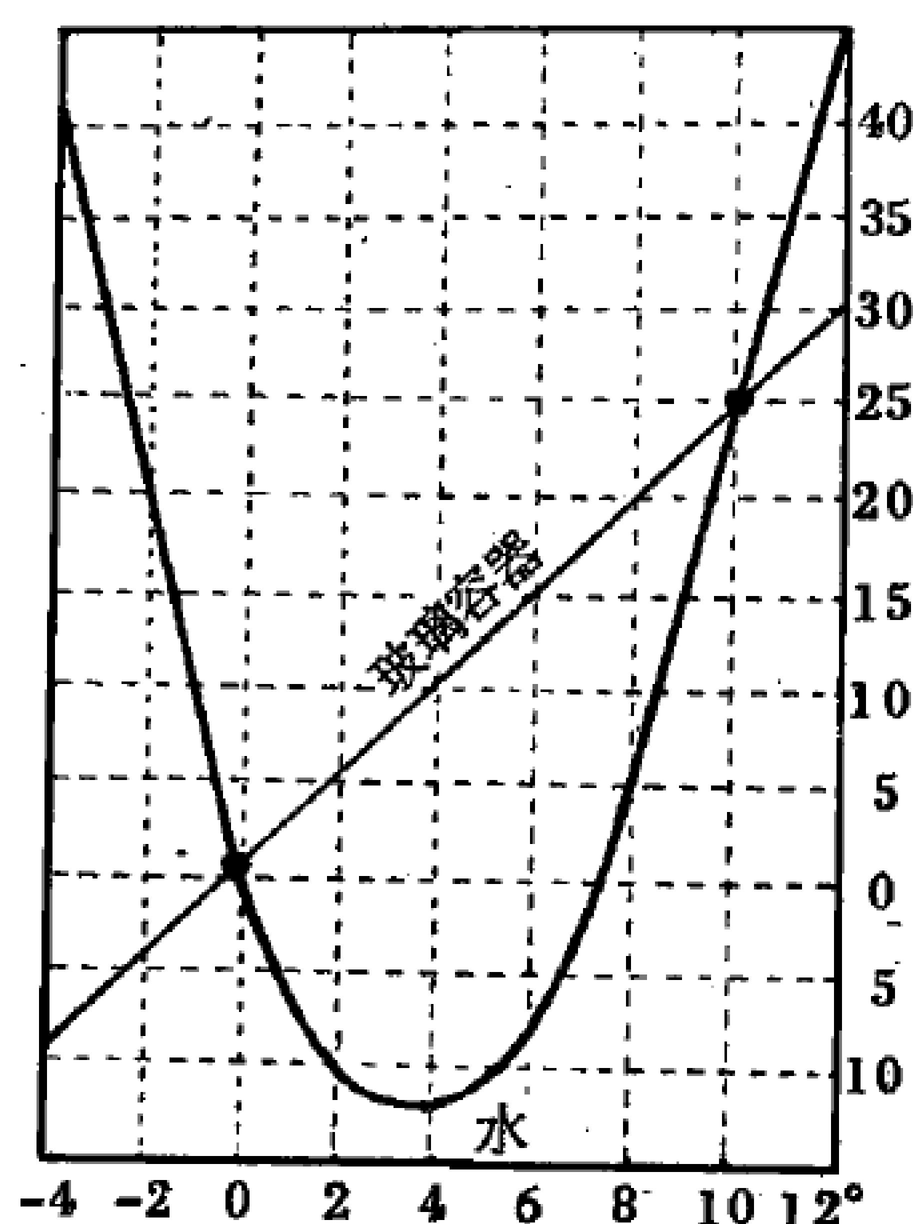


圖 4—258
玻璃容器之熱膨脹，和盛於其中之水之熱膨脹二者之比較。

是與 8°C 時的一樣大小。在 4°C 時，水的體積是最小。因此，4°C 時水的比重（＝絕對重量/體積）也就最大。凡是溫度小於或大於4°C 的水，其比重總是輕於 4°C 的水。這種特性，我們稱之為反常性（常規之變例）。這種水之反常性，對於自然界中之平衡狀態實具有莫大之意義。當冬季來臨而氣溫下降時，湖泊中的表面水層最先冷卻，因此，其比重就較底層之溫水略大。由於這個緣故，表面的水便向下沉，而由底層較溫暖的水來補充。這種被稱做"熱之對流"（*convection of heat*）的水之循環過程，會如此不斷地繼續下去，一直到全部湖泊中的水都具有 4°C 溫度時為止。只要一達到此種情況，即使表面的水層再由 4°C 冷卻到 0°C，其比重也仍然小於底層之水，故能停留在表面而凍結。因此，在表面能結冰之前，全部湖泊之水必須先要冷卻到 4°C 的溫度。倘若我們要使底層的水，再進一步由 4°C 冷卻到 0°C，則由於4°C時水之對流作用業已停止的關係，所以就只能由靜水經過所謂熱之傳導作用來達到這個目的，但是這一個過程是要比熱之對流作用慢得太多，因為水是一個十分不良的傳熱體。由於這種種緣故，所有從上到下的未經凍結的水，其溫度就一定是處於 0°～ 4°C 之間（圖 4—259）。冬季某日瑞士蘇黎士湖中各深度不同處之水溫，業經量得如下：

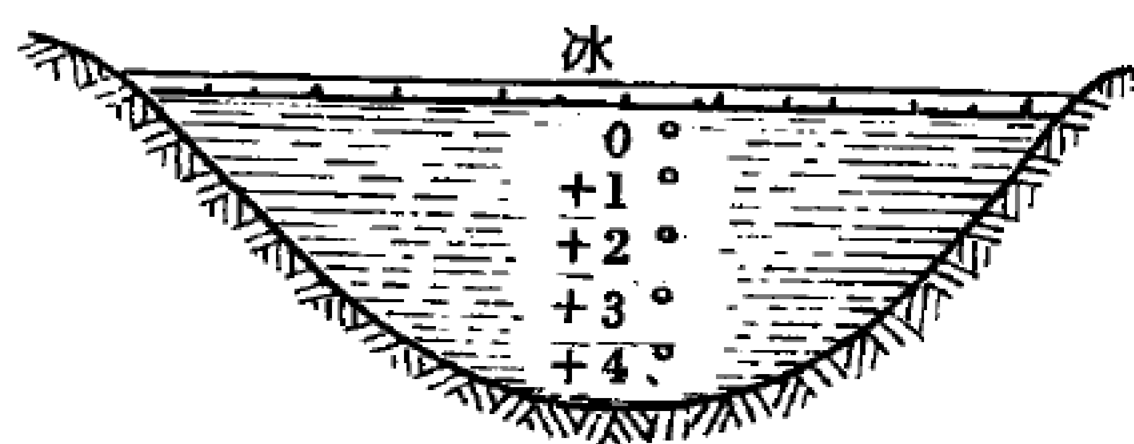


圖 4 — 259

靜水湖泊凍結時，上下時各水層之溫度

溫度	0.2°	2.9°	3.5°	3.7°	3.8°	3.9°	4.0°	4.0°
水深	0	20	40	60	80	100	120	133*m*

所以即使是在十分酷寒的冬季，自然界中也不致於發生一種連底凍結的情況。各種有機物恆可撤退到不凍結而較深處的 4°C 水中度其生活，原因亦在於此。

除此以外，我們還要敍述一種水之特性，那就是當水於 0°C 結冰時，其體積反而膨脹，這和其他液體於凍結時，大多數縮小其體積正是相反的。冰於 0°C 時，其比重爲 0.917，而 0°C 之水，其比重則爲 0.99987，所以冰總是浮於水面上的。

就河流而論，其凍結之過程又是另外一種情況。於此，冷與熱之水流互相混合，以致於使全部之質量經過空氣之冷卻，逐漸達到 0°C 的溫度。於是，凍結就由河底（底面冰）與岸邊開始，因爲在此二處流速極其微小，故可使冰之針形結晶在固體上開始形成。當冰之質量達到了一定的數値時，就被浮力舉起而上升到水面（浮面冰）。

水在結冰時的膨脹力非常龐大。裝水之玻瓶會在結冰時破裂。如果利用一個鑄鐵的厚壁空心球，如圖 4 — 260，則更能證示出此種炸裂的作用。我們先將水自上端灌入球中，並用一堅固的螺旋塞將其塞緊；然後將此球放置在雪和鹽之冷卻劑（ *coolant* ）中冷卻到 − 20°C；過不多久，就可以聽到沈重的爆炸聲，此乃冰將鐵球炸開之聲。此種爆炸，由於範圍不大，所以並無危險。由此可知，嚴冬時須於水管外面加上一層具有保溫作用之保護物。

圖 4 — 260
鐵彈中之水結冰時會使鐵彈炸裂

水結冰時的炸裂作用，是山脈風化的主要原因之一。雨水倘在秋季流入岩石裂縫或多孔的岩層中，到了冬寒季節，就會凍結成冰，並以無可抗拒之威力將岩石炸裂（凍裂）。此項工作持續若干年之後，山脈便會遭受破毀，而炸開之山岩石塊則將墜落深淵，並在落地時撞裂成許許多多小石塊。後者被山溪不停地捲滾，終於形成一片亂石，日後則變成細沙之平原。

【Ⅱ】重量

體積爲 1 cm^3 的水重，通常是說有 1 克，可是正確的說法是指水在 4 °C時的重量。

如圖4—261的曲線是表示 1 cm^3 水的重量是如何隨著溫度變化而改變的情形。由這一曲線圖可知，水溫比 4 °C 爲高或低，水的重量都比 1 g 輕。0 °C 的水 1 cm^3 的重量爲 0.99984 g，10 °C 時的重量則爲 0.9997 g。即 1 cm^3 的水的重量是在 4 °C（正確的說法應是 3.98 °C）時爲最大。溫度不論比這高或低，重量都比 1 g 輕些。

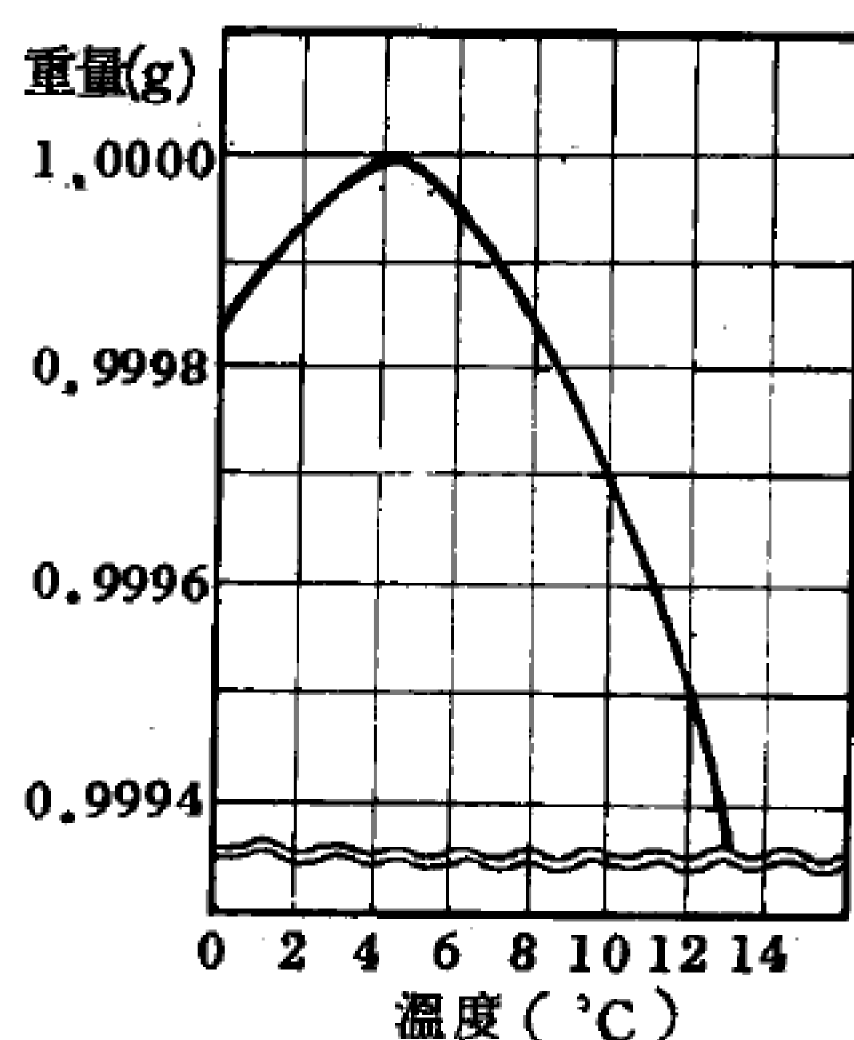


圖 4—261
水的重量與溫度的關係

普通的物質是溫度上升時，其 1 cm^3 的重量卽減小。可是水在 0 °C 至 4 °C 之間時，卻是溫度上升，重量也增大。這是在我們身邊日常所接觸的液體中，只有水才有的特性。在冰冷的地方，池底部的水溫常接近 4 °C，而固體的冰塊會浮在水中等現象，都與水的特性有密切的關係。

【Ⅲ】水面張力

水表面有一種力量，這種力量叫做水面張力。從日常生活上可以看到很多水面張力的例子。例如喝蘇打水用的吸管末端，或一個栓塞的漏口上形成的一滴水。這一滴水會逐漸逐漸變大，看起來很像是一個橡皮袋子，直到重得利害才掉下來（圖 4—262）。要是把水放在一塊薄薄的橡皮上，就可以看出水表面的張力，是向著上下各方伸展出去的。水在盆中只有一個

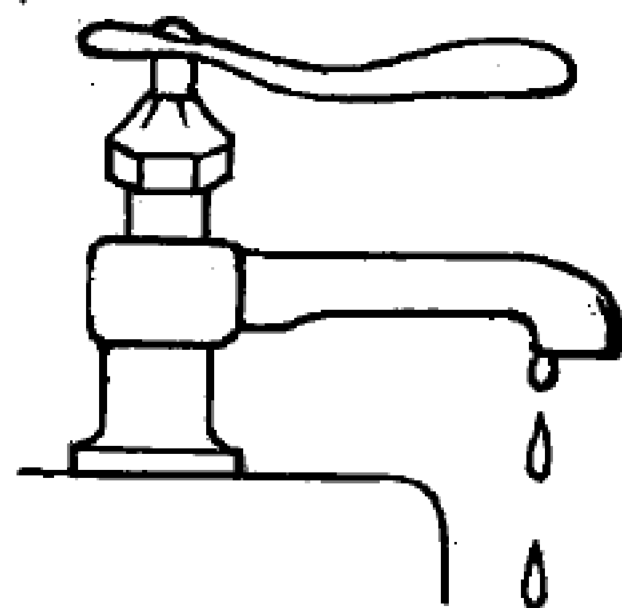


圖 4—262

頂面，可是落下的一滴水，它就有一個完全的表面。這就是造成一滴水留在漏口上，直到逐漸變大而落下來的原因。這一滴水在它要落下之前，它的重量，一定要大得足夠打破漏口上水面張力的內聚力才行。

放一點水在乾燥的木桌面上，水就會四向伸展把桌面弄濕。要是把水放在膩污或油或是脂的桌面上，就不能夠把桌面弄濕。這時水在桌面上聚成一些小小的圓點，或是一灘水。乾淨桌面上，就看不出水面張力來。油污桌面上，表面張力作用，把一片水弄成一個個圓球。引力作用又把這一個個小球弄平。

沒有一個球會是方的，從來也沒有人看見過方的水滴。表面張力總想把一灘水撕拉成儘可能小的體積。圓球就是一片水所能占有最小空間的形狀了，任何東西也是一樣，所以雨滴都是圓的。因爲它那彈性的表皮表面張力——把它造成這種形狀的。

昆蟲能夠在水面滑走，也就是表面張力的作用。這些昆蟲的腳從不會濕。牠們是在橡皮薄膜上行走。

帆布帳幕不會聚水，也是張力的作用。帳幕上滿是一些小小的洞。水爲什麼不流經那些洞，好像是一件不可思議的事。實際上，就是這些小洞上面，被水作成的一個橡皮薄膜罩起來，所以水就不能再流過去。要是用手指摩擦帳幕外面或裏面，這帳幕就會漏水。這是因爲你把那橡皮薄膜弄破了，水就穿過小洞流了下來，所以下雨時，最好不要用手摩擦帳幕（如圖4－263）。

表面張力是由於水分子間的作用而造成。水裏的分子不停地運動，它們之間彼此的吸引力很強，這種吸力所付出的電荷比引力還強。在許多水中心下面每一個分子，就立刻被別的分子向四方吸引。這個拉力是從四方來的，所以許多拉力彼此就造成了平衡，終於

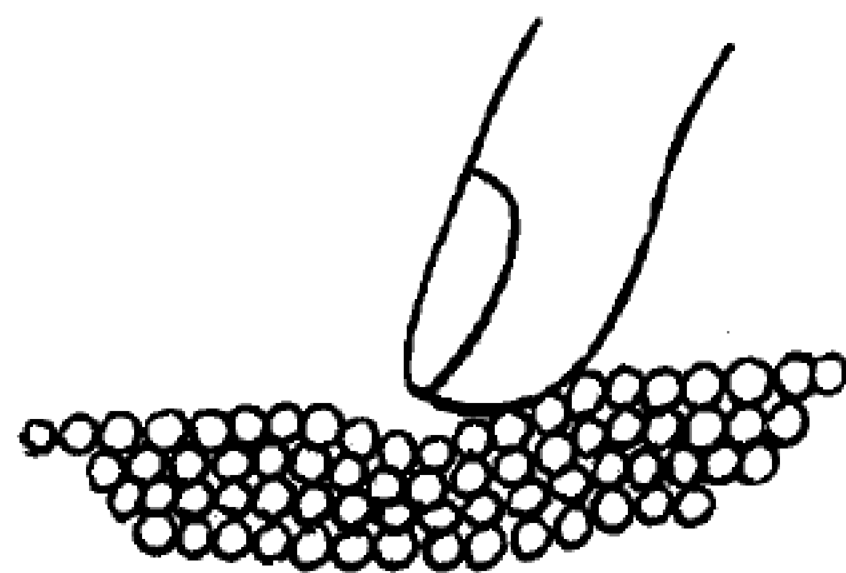


圖4－263

成了完全沒有拉力之感。

以上說的是水表面下的分子。至於那在水表面上的分子，只有被其他分子向下或左右各方面拉，就是沒有向上拉。因此拉力就不能平衡。這個分子被前後左右和下面其他分子所包圍，而無法跑掉，它的上面就是空氣的分子。可是空氣分子並不像水分子那樣強而濃厚，所以對於水表面分子起不了作用。

水表面的分子，就是因爲這向下和向旁的拉力，造成了表面張力。

油脂、油污和臘遮覆的桌面，不能把這拉力打破，也是因爲它們分子的力量不夠強的緣故。所以油污的桌面就不能被水弄濕。要使東西被水打濕，就必得使它的分子拉力很強，足夠打破表面張力才行。

關於表面張力還有很多有趣的例子。例如把油傾入水裏，油在水裏就減低了水的表面張力。油表面張力比水小得多。油分子吸引力沒有水分子那樣強。海上波濤洶湧時潑油下去，可以使海面平靜。此因一個表面的水分子緊跟著的是一個油的分子，這個水分子就會被別的一些水分子強力的拖拉，而這個水分子除了油分子的那一面外，其他各面都是水分子，一個油分子當然是敵不過那麼多水分子的力量的，水分子自然就從油分子那一面被拉走了。

就是這個道理，所以油在水表面上擴散得很快。在油停止擴散以前，這油膜可能只有一個分子的厚度，所以很少一點油就會在洶湧波濤上散佈得很廣。多少沉船就靠這水面擴展的油，來保持著漂浮以待援救。可是蚊子卻被水面上的油造成了沉落而死亡的（圖 4－264）。蚊子在牠成長到要生出兩翼之前，一直都是倒懸在水表膜下的。牠的尾巴伸出水面來呼吸。要是把油潑在水面上，水面張力減弱了，因此無力向上抓住幼蚊。也就是說表面張力太弱，再

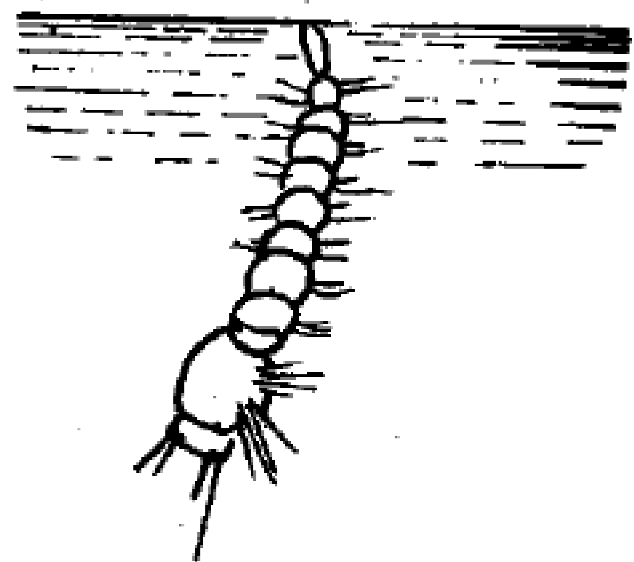


圖 4－264

幼蚊懸在水表面下

掛不住幼蚊了，於是幼蚊就會沉到水底而被淹死。

【水力學】(Hydraulics)

處理水和其他液體的靜力學及動力學方面的定律，以及該等定律之應用的科學。又稱爲應用流體力學。

【水子波】(Hydronic waves)

是美國佛羅里達州的電子學家敏杜 (*Wallace Minto*)早年在試製一種探測魚類的聲納時所發現的。

水子波放射也像普通由振盪電流所產生的無線電波一樣，兩者都是經由天線發射和接收；並且可以做調幅 (*A.M.*) 或調頻 (*F.M.*) ；當距離爲二十呎時，它的強度爲十呎時的四分之一。水子波和一般無線電波所不同者，是這種電波可以很容易地在水中傳播。

用同樣的二級天線做試驗，一個在水中，一個在空中，這兩種波是相互成直角發射的；普通的無線電波係垂直於天線軸發射，水子波則和天線軸平行。

水子波對天線的要求也有不同，天線的長度似乎沒有什麼影響，面積、斷面和結構材料則爲重要因素。

試驗結果，水子波是不受水面上天氣情況 (如雷雨) 及海底聲波 (如動力船) 的干擾，水子無線電在淡水中也和海水中一樣有效。

【水之三相點】(Triple point of water)

關於溫度定義之表面的混亂由科學界之共同協定而消除，協定使用特定之測溫物質、特定之測溫性質和該性質的量度與公認溫標之特定函數關係。用其他方法定義之私自溫標均可依此公認溫標加以校準。

設已選定測溫物質，令X代表欲用以制定溫標之測溫性質。任意選擇性質X的下述線型函數爲溫度T，則適當的溫度計，及與此溫度計成熱平衡之任何系統的溫度可寫爲

$$T(X)=aX$$

式中 a 是應求之常數。從選擇 $T(X)$ 之線型形式，使相等之溫度差，或溫度區間，對應於 X 之相等改變。例如水銀溫度計之水銀柱每改變一單位長度時，不論開始之溫度爲何，溫度也改變一定之量。因此，用相同溫度計所量得兩溫度之比，等於其對應 X 之比，亦即

$$\frac{T(X_1)}{T(X_2)}=\frac{X_1}{X_2}$$

欲決定常數 a，即欲校準溫度計，定一標準定點，在該點所有溫度計之讀數必須同爲溫度 T。選擇冰、液體水和水蒸氣平衡共存時之溫度爲此定點，稱爲水之三相點。此點必須在一定之壓力下方能抵達，且是唯一之點（圖 4—265）。在三相點之水蒸氣壓力是 4.58 毫米水銀柱。在此標準定點之溫度則任意定爲凱氏273.16度，簡寫爲 273.16 °K，比水之凝固點高 0.01 °K。克氏是一單位之溫度區間。

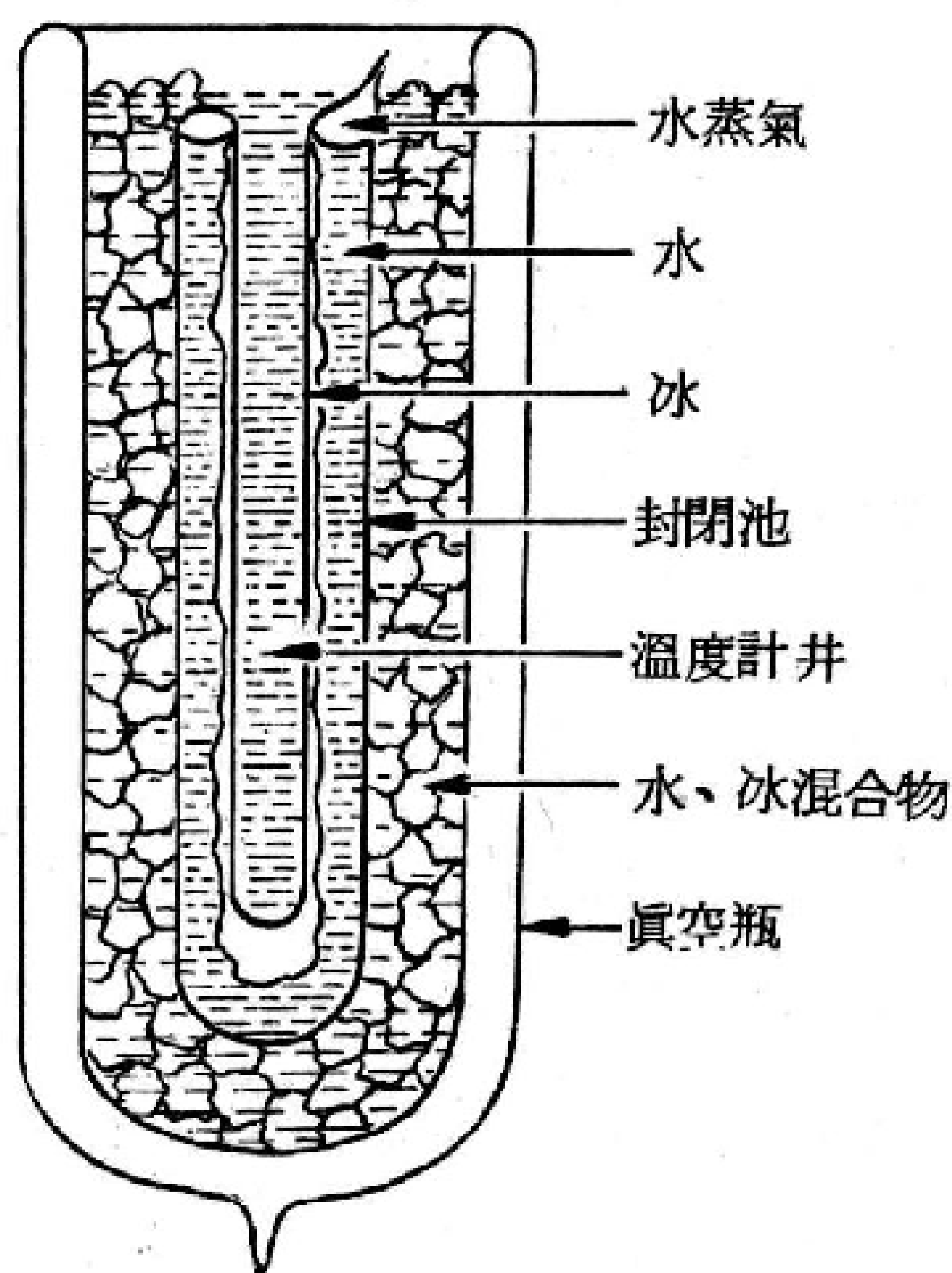


圖 4—265 美國國家標準局之三相點池 將純水盛於池中，抽去空氣後封閉之，再沉入冰水盆中。當冰、水和水蒸氣均在池中出現且平衡時，系統即在三相點。待校準之溫度計即浸入中央之井中。

若用下註 tr 表示在三相點之值，則對任何溫度計爲

$$\frac{T(X)}{T(X_{tr})}=\frac{X}{X_{tr}}$$

對所有溫度計爲

$$T(X_{tr})=273.16°K$$

故 $$T(X)=273.16°K\frac{X}{X_{tr}}$$

因此，當測溫性質之值爲 X，則所選之特定私自標度的溫度爲 T，以 °K 爲單位；以 X 和 X_{tr} 之值代入方程式的右端即得溫度 $T(X)$。

上式可用於數種溫度計，如爲液體在玻璃管中之溫度計，X即是液柱高度L，則得

$$T(L)=273.16\,°K\frac{L}{L_{tr}}$$

如爲壓力一定之氣體，X即是氣體體積V，得

$$T(V)=273.16\,°K\frac{V}{V_{tr}}\quad(\text{定壓})$$

至於體積一定之氣體，X即是氣體壓力P，得

$$T(P)=273.16\,°K\frac{P}{P_{tr}}\quad(\text{定容})$$

至於鉑電阻溫度計，X即是電阻R，得

$$T(R)=273.16\,°K\frac{R}{R_{tr}}$$

其他各種測溫物質和測溫性質均一樣。

水之三相點的溫度是計溫學（*thermometry*）的標準固定點。要達到三相點，必須將純度最高的水，蒸餾入圖4—265所示的容器內。把所有的空氣抽除後，將該容器封起來。藉著內部井狀部分的冷凝劑（*freezing mixture*）之助，在井部周圍會形成一層冰。用溫度計泡代替冷凝劑，則附近的冰，會熔化一個薄層。只要那些固體、液體和蒸氣相（*phase*）平衡地共存著，整個系統就是位於三相點。此即爲美國國家標準局（*the U. S. National Bureau of Standards*）所用的裝置。

【水之反常膨脹】（Reverse expansion of water）

水在4°C時，其體積因溫度的升高而縮小；在4°C以上，始隨溫度的增加而脹大。故水的密度在4°C時爲最大。此爲水的反常膨脹。

【水之沸點】(Boiling point of water)

一壺水置於室內空氣中，無論其溫度如何，水氣都會自行蒸發。但若溫度高到某一程度，則水氣不僅在水面上形成，而且可在水內各部分形成，這些水泡升至水面卽行破裂，因此，壺內的水會有強烈激動，此種現象便叫沸騰，而此時的溫度便叫沸點。

任何液體在某一溫度均有一定之氣壓，如果此一氣壓小於液面氣壓，則此氣立刻凝結。溫度愈高，氣壓愈大，當溫度高達沸點時，氣壓便大得和液面氣壓一樣，故能在水底形成水泡而不凝結，於是便引起沸騰。故液體之沸點乃某一溫度，在此溫度時，液體之氣壓正相等於外界之壓力。

【水手號】(Mariner)

水手號(*Mariner*)其目的在將太空船飛近金星和火星並送回探測它們的資料，有四艘已經發射，但只有兩次達到任務。水手二號於1962年十二月四日發射並飛距金星二萬一千六百四十八哩，這是第一次在近距離內研究金星，它現在仍在太陽系軌道中。水手四號於 1965 年七月十四日攝得火星的近距離(10,500～7,400哩)照片，它於1965年十月一日仍能傳送所測得的星際資料，那時它已遠距地球一億九千萬哩。水手二號及四號所提供的資料可簡述如下：

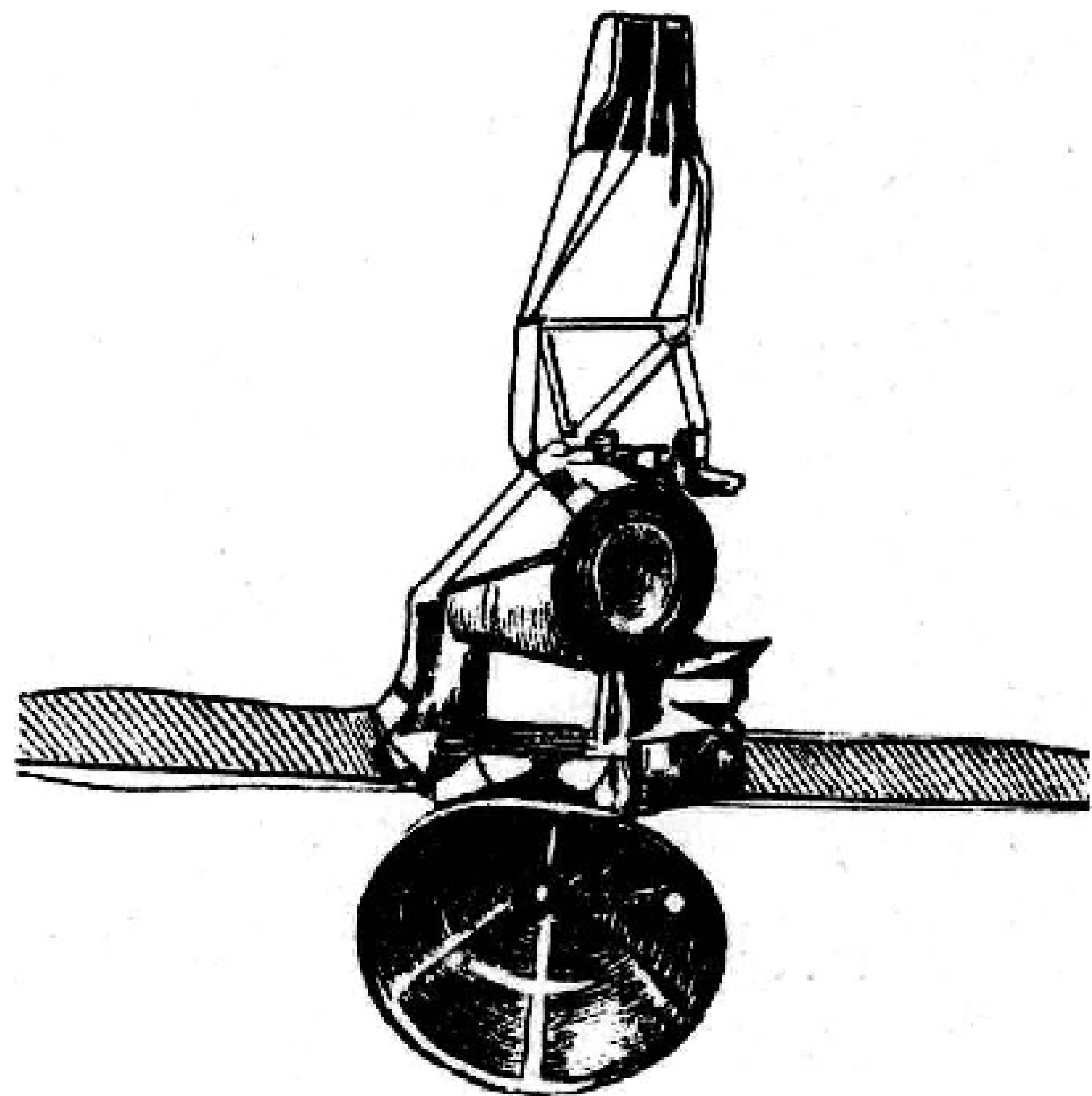


圖 4 — 266　水手號太空船

1. 太陽風(*solar wind*)——是由太陽擾動的表面不斷衝出的極熱電化氣體，其質量、速度及溫度依太陽表面變化的週動而不同。太

陽的火閃（*flare*）也會增強太陽風，太陽風對宇宙線有影響，星際間的磁場強度也直接因太陽風強弱而改變。

2. 微細流星體多聚在地球附近，在星際間的數量很少（但在金星火星附近並未作比較測量）。

3. 證實在地球上可以與太空船通訊。因追蹤水手二號及四號已精密的測量出地球至太陽的距離、火星軌道、金星軌道及它們的質量等。

4. 獲得更多有關在磁場中粒子放射的相互作用資料，及對太空船的追蹤、引導、警告等方面的實際經驗。

【水平中心控制】（Horizontal centering control）

電視接收機或陰極射線管，變更全像水平位置的控制器。

【水平同步脈衝】（Horizontal synchronizing impulse）

維持電視接收機與發射機的同期。

【水平空白】（Horizontal blanking）

陰極射線管之脈衝，回到簾幕之左邊時割斷電子注。

【水平波道】（Horizontal channel）

此電路與示波器之水平偏向屏相連接，使射線依水平方向偏移。

【水平拋體運動】（Horizontal projectile motion）

以某一初速自高處將一物體沿水平方向拋出之運動。空氣阻力不計，作水平拋射運動之物體只受鉛直方向之重力作用，水平方向不受任何之作用力，故此種運動可視爲水平等速運動與自由落體運動之合成運動，且此兩運動互爲獨立，各不相關（在不考慮空氣阻力狀況下）。

設以初速$\vec{v_0}$自高度H水平拋出一物體：

1. 經時間t後之速度$\vec{v}$

水平分速：$v_x = v_0$

鉛直分速：$v_y = -gt$（負值表示此速度之方向爲鉛直向下）

速度$\vec{v}$之大小：$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$

速度$\vec{v}$之方向：$\theta = tan^{-1}\dfrac{v_y}{v_x}$（θ爲$\vec{v}$與水平方向之夾角）

2. 經時間 t 後之位移$\vec{S}$

水平分位移：$\vec{x} = \vec{v_0} t$

鉛直分位移：$\vec{y} = -\dfrac{1}{2} g t^2$（負值表示此位移之方向爲鉛直向下）

總位移$\vec{S}$之大小：$S = \sqrt{x^2 + y^2}$

總位移$\vec{S}$之方向：$\theta = tan^{-1}\dfrac{y}{x}$（θ爲$\vec{S}$與水平方向之夾角）

3. 軌跡——爲一拋物線，以原點爲拋出點，此軌跡之方程式爲

$$y = -\frac{g x^2}{2 v_0{}^2}$$

4. 著地前所經時間T；$T = \sqrt{\dfrac{2H}{g}}$

自同一高度水平拋出之各物體，不論初速之大小爲何，均同時著地。

5. 水平射程——著地前所經之水平距離稱爲水平射程R。

$$R = v_0 \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

【水平面】（Horizontal）

把水盛在任何器皿內，靜止後和空氣接觸的表面總是呈平面。這種平面就叫水平面。

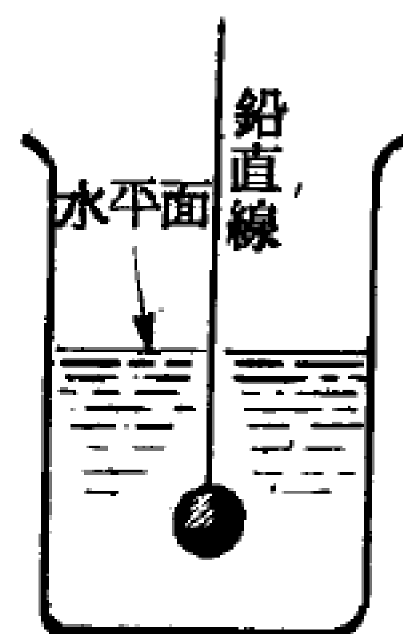


圖 4 — 267

由於水總是要往低處流，因此，即使把容器傾斜，水的表面，還是呈水平面。水平面與鉛直線總是互相垂直（圖 4 — 267）。若不然如圖 4 — 268，則可分解爲沿液體表面之分力 p，及與液面成直角之分力 q，q 力與液面成直角，被內部之液

支持，其作用即抵銷。p 力無物支之，液體必取此力之方向流動，流動至此力消滅時，始能靜止。然欲沿液面之分力消滅，必重力與液面成直角始可，故可知水平面始終與重力方向之鉛直線成直角。

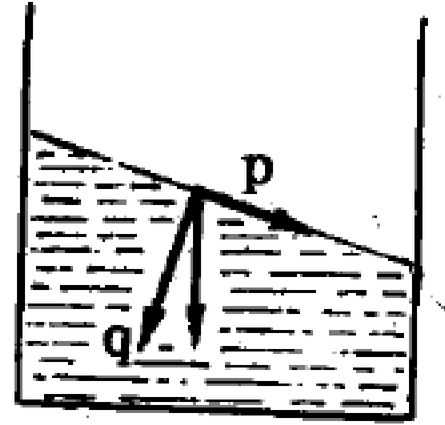


圖 4 — 268

【水平射程】(Horizontal range)

投射的水平距離。

詳閱“水平拋體運動(*Horizontal projectile motion*)”條。

【水平偏向電極】(Horizontal deflecting electrode)

在陰極射線管電子槍與螢幕間一對水平偏向電極，藉靜電偏向作用完成水平的偏移。

【水平控制】(Horizontal hold control)

在電視接收機中，改變水平掃描振盪器頻率之控制器。

【水平強度】(Horizontal intensity)

地磁強度在水平方向之分向量(H)稱爲水平強度，如圖 4 — 269 。

設某地之磁傾角爲 ϕ ，地磁強度爲 R

則　水平強度　$H = R\cos\phi$

　　鉛直強度　$V = R\sin\phi$

$$\tan\phi = \frac{V}{H}$$

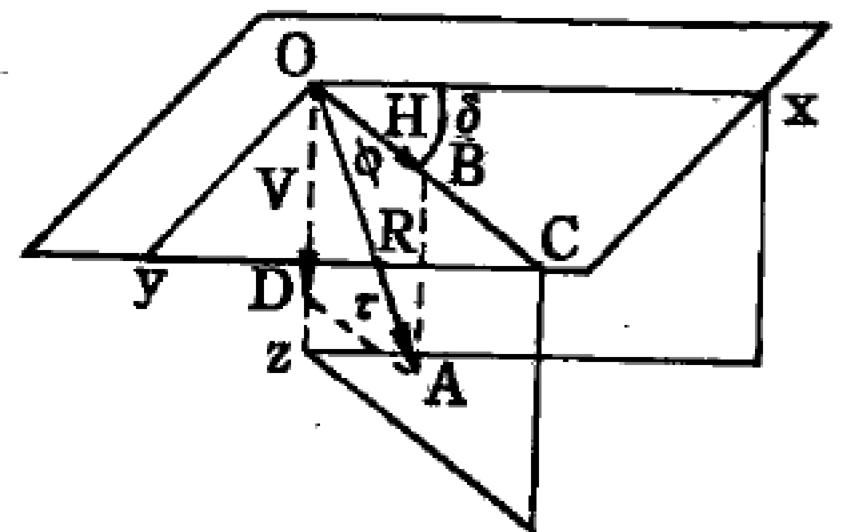


圖 4 — 269

【水平掃描】(Horizontal sweep)

進行由左至右之掃描動作。

【水平儀】(Spirits level)

或稱水準儀。此類儀器係用一根彎度不大的玻管所製成 (如圖 4 — 270)，裏面用一種極易流動的液體 (酒精) 灌充，一直灌滿到只留下

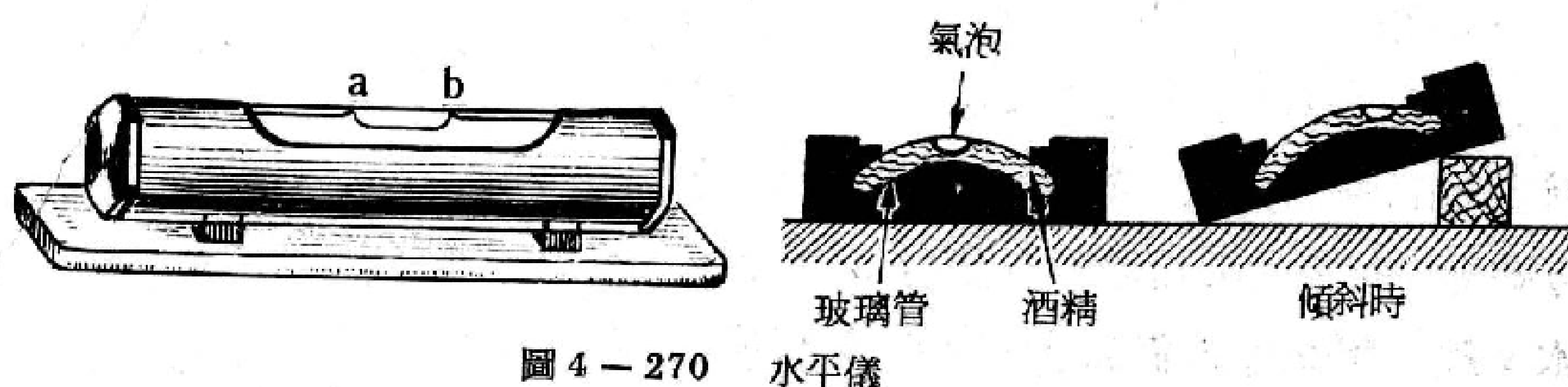


圖 4－270　水平儀

一個小氣泡的程度。此氣泡由於浮力的關係，始終會上升在液體中，並且不論玻管之位置如何，總是上升至管內之最高位置。此種玻管係被如此安裝在一平板上，即當使平板放在一水平的平面上時，氣泡即恰巧留於管子中央的 *a* 與 *b* 兩標線之間。爲了確定一平面之是否爲水平的，至少需用水平儀擇取兩個不同的方向來加以查驗，因爲根據幾何定理，一平面之位置乃由彼此相交的兩條直線所決定的。

【水平磁力】(Horizontal component of the earth field)

從磁針所示傾角的大小，可知地球上各地點的磁力方向，除磁赤道外，亦多傾斜，求各地點磁力的水平分力，叫做水平磁力。

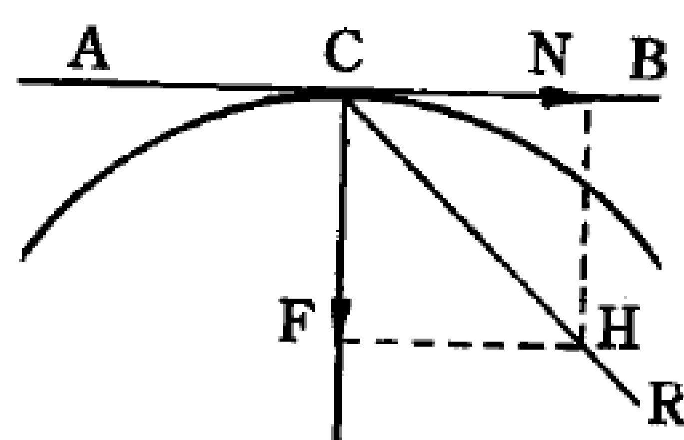


圖 4－271

作用於能在水平面內廻轉之磁針上之地球磁力，僅爲其一部分之分力，是爲水平分量。如圖 4－271 *AB* 爲水平線，*BCR* 爲傾角，則 *CR* 爲地磁力之方向。茲命 *CH* 爲地磁氣作用於 *C* 點之磁極上之力，將此分爲水平及垂直兩方向，則垂直分力爲 *CF*，水平分力爲 *CN*，地磁磁力係沿 *CR* 方向，其強度不易測得，普通皆測其水平分力 *CN*，以比較各地地磁力之強弱。

【水卡計】(Water calorimeter)

將不同溫度的各質素混合於其中，以測定比熱（*specific heat*）之儀器，稱爲卡計。下面所述者乃是水卡計（圖 4－272）。該水卡計之主要部分爲一磨光之薄皮金屬罐 *A*（黃銅、銀），此一金屬罐即位於

一不易傳熱之承受座上，譬如是位於一個軟木座墊 B上。罐外圍以一磨光之金屬圓筒 C，該圓筒即作爲金屬罐 A之外套，而圓筒之夾層內並有水注入，以造成一種等溫的情況。金屬罐 A中盛以一定量之水，經一攪拌器 R徹底攪拌後，其溫度即由溫度計 T讀出。在圖4－272中，上述各部分零件均經個別抽出後再加標示。加熱後之物體，即被置入 A罐之水中，圓筒 C則加以一頂蓋，此頂蓋有槽孔，可容攪拌器及溫度計之插入。於是，經過繼續攪拌後，可由溫度計觀察其溫度升高至何度。由於通常熱水壺之具有良好絕熱性能，故可當作一種高度適用之計卡容器。水卡計根據以一定量之水所增加的溫度，即可測知熱量之大小。由測知之熱量 H代入 $H=Mst$ 則可求出欲測定物體之比熱。上式中 H爲水因溫度升高所吸收的熱量；M爲水的質量；s 爲水的比熱；t 爲水所升高的溫度。

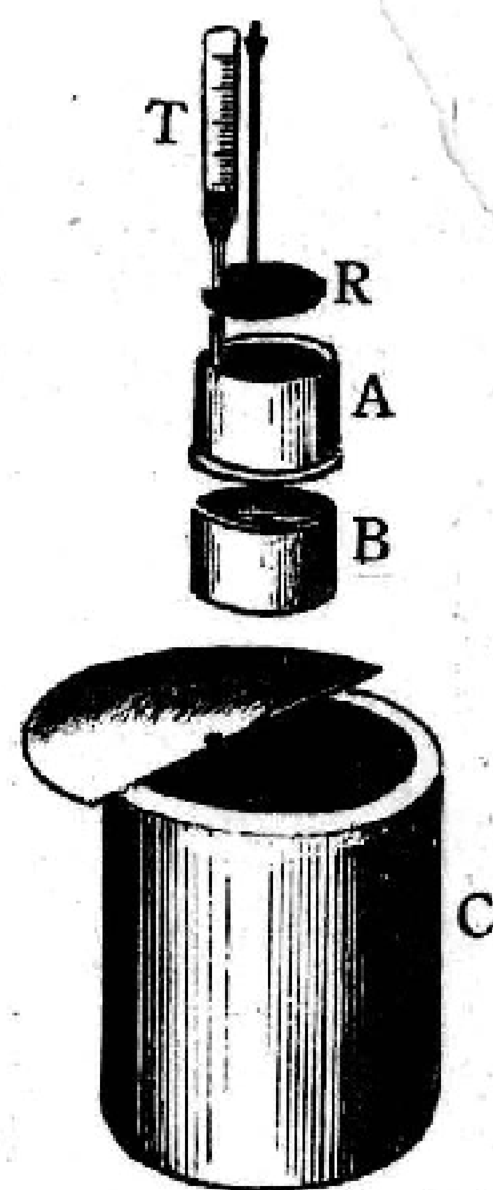


圖4－272　水卡計

【水瓦茲不等式】(Schwartz inequality)

在希伯特空間 (*Hilbert space*)，定義純量積之後，可知此純量積的基本性質。如 f 和 g 爲此空間中的二向量，(f, g) 爲其純量積，則

$$(f, g) = (g, f)^*$$

$$(f, f) \geq 0$$

$$(f, cg) = c(f, g)$$

$$(cf, g) = c^*(f, g)$$

$$(f+g, h) = (f, h) + (g, h)$$

等等。由以上性質，可以推導水瓦茲不等式，此不等式的形式爲

$$\sqrt{(f, f) \cdot (g, g)} \geq |(f, g)|$$

由此不等式及厄米特算符的對易關係，可以推導不確定原理的基本關係式。設A、B和C皆爲厄米特算符，且

$$[A, B] = iC$$

則由水瓦茲不等式可以導得

$$\triangle A \cdot \triangle B \geq \frac{|\langle C \rangle|}{2}$$

若A爲x，B爲p_x，則C爲$\hbar$

$$\triangle x \cdot \triangle p_x \geq \frac{\hbar}{2}$$

【水瓦茲琦度規】(Schwartzschild metric)

愛因斯坦的重力場方程式，假設與時間無關的孤立場源，且有三維空間之球對稱等條件，可以求出基本度規張量的形式，爲

$$dS^2 = \left(c^2 - \frac{2GM}{r} \right) dt^2 - \frac{dr^2}{1 - \frac{2GM}{c^2 r}} - r^2 (d\theta^2 + sin^2 \theta d\varphi^2)$$

因此

$$g_{00} = 1 - \frac{2GM}{c^2 r}$$

$$g_{11} = \frac{-1}{1 - \frac{2GM}{c^2 r}}$$

$$g_{22} = -r^2$$

$$g_{33} = -r^2 sin^2 \theta$$

這種度規稱爲水瓦茲琦度規。

此基本度規在預測行星的近日點前移，及光線在太陽附近之偏向等現象有很準確的描述，是一般相對論中應用最多的度規張量。

適合一般相對論的場方程式的基本度規張量有很多形式，其中以水瓦茲琦度規應用最廣。

【水池反應器】(Pool reactor)

水池反應器是用途很廣的反應器之一。1955 年美國賓西凡尼亞州立大學所建的水池反應器是第一座大學所建的水池反應器，這以後有許多水池反應器陸續被建造。

這座水池反應器中有一個像游泳池一樣的水池，不過它有18 呎深，而且沒有較淺的一端。爲了要做核心足夠的屏蔽，這麼深是必須的。

水池中的水可兼三種作用：冷卻劑、反射體及屏蔽。許多水池反應器更用以做緩和劑。在這個系統中，用鈾與鋯及氫的混合物做燃料，它能使很大一部分的中子減速，與水合爲緩和體。

反應器的核心吊在橫跨水池的橋上。橋裝有輪子，所以能自由在池邊移動，整個懸吊核心的構架也跟著移動。這種活動組合使得核心能置於池中任何部分，這也是水池反應器的最大便利。

一個實驗可以在池內某一區域接受照射，而在另一點起、落與修改另一實驗計劃。

有些水池反應器在水池之一端有實驗管及熱中子室之設計，可將中子導出至實驗設備。有的在水池兩端都有這些設備，同時也能在水中做實驗（圖 4—273 與圖 4—274 ）。

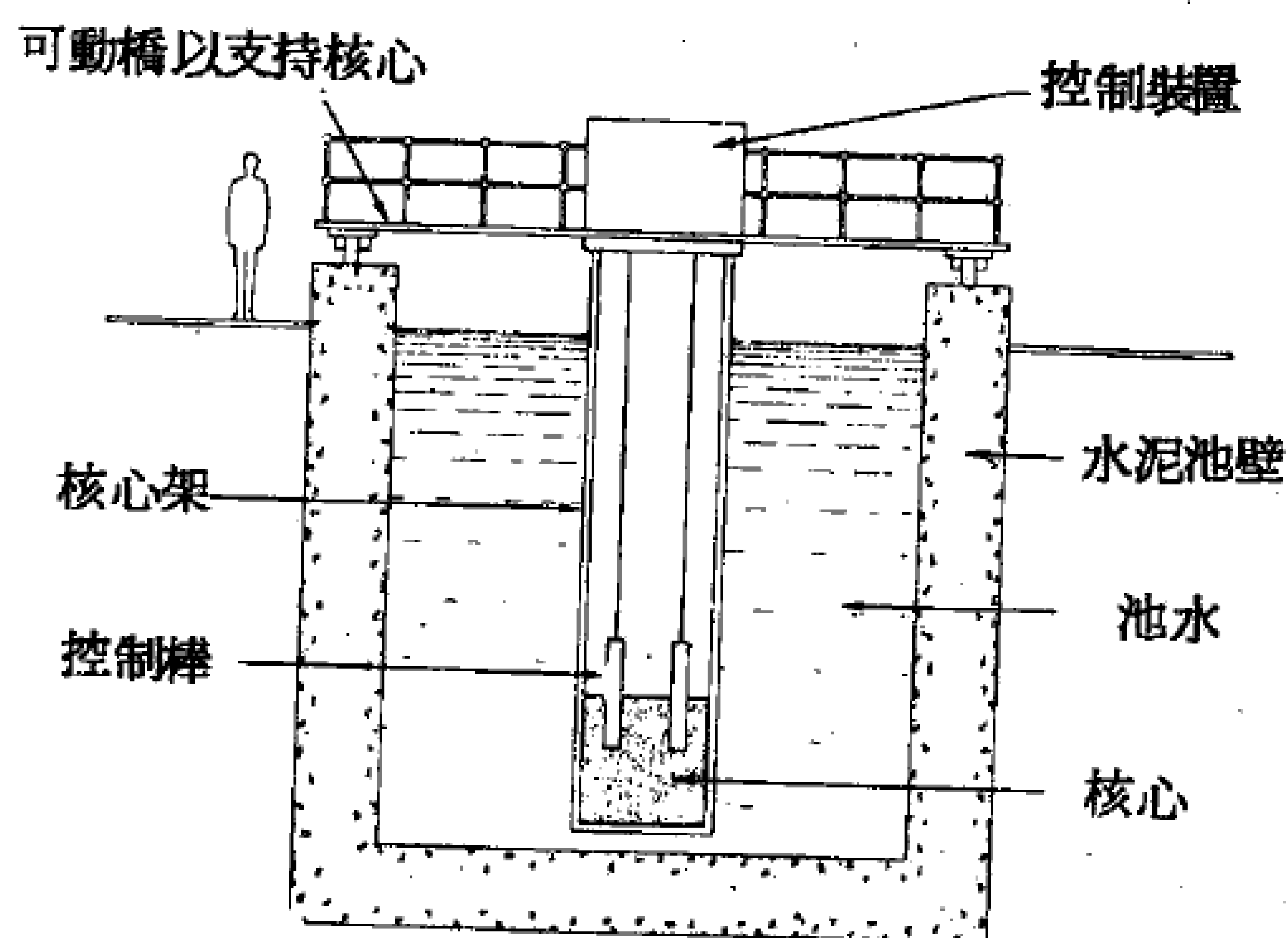
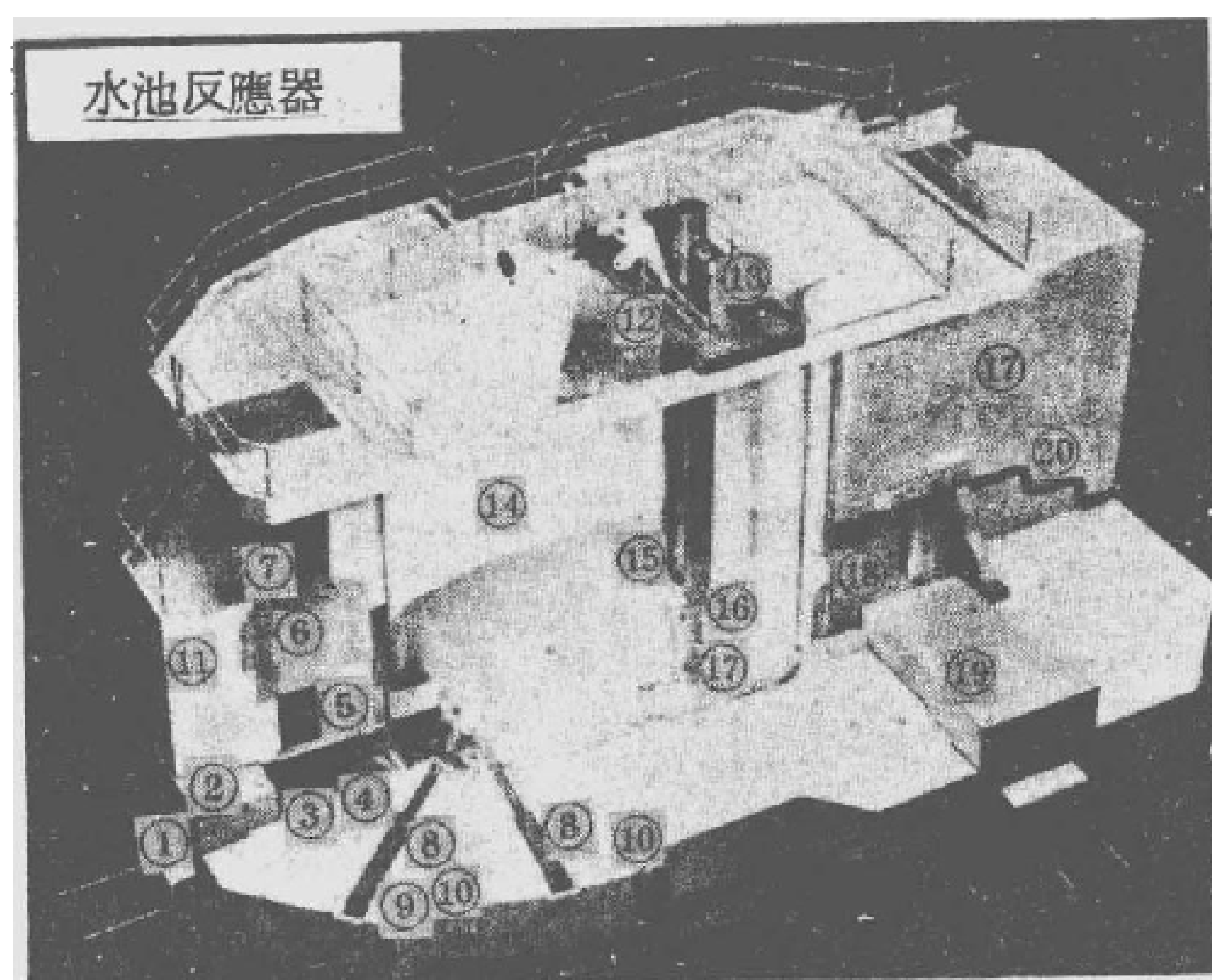


圖 4 — 273　水池反應器簡圖

水池反應器所用的燃料有兩種基本的形式。第一種是高度濃化的鈾片，通常叫*MTR* 燃料，包括鉛鈾合金片及純鋁做的護套（*clading* ）。幾片燃料合成一個燃料元件，一個元件通常爲 3 吋見方 24 吋長，包

括140到190克的鈾。核心中有20到25個燃料元件，其數目視燃料元件安排情況及實驗進行需要而定。

水池反應器所用的另外一種燃料是柱狀元件。此種元件一般稱爲*TRIGA*燃料元件，它是高度濃化鈾與氫化鋯的合金，以不銹鋼爲護套。每一元件爲1.5吋直徑28 吋長，大約含 39 克的鈾-235 。爐心中約含65到85根燃料元件。



①縱通入管　⑦垂直通入管　⑭反應器水池
②熱中子室屏蔽門　⑧輻射狀實驗管　⑮氣送照射梭
③均勻中子室　⑨熱中子室通入管　⑯同位素製造設備
④水平熱中子室　⑩交錯穿通管　⑰核心
⑤垂直熱中子室　⑪水泥屏蔽　⑱照射室
⑥垂直熱中子室屏蔽塞　⑫可動橋　⑲照射室屏蔽門
⑬控制棒操縱　⑳實驗通入導管

圖4—274

用來控制的機械裝置在橋上，控制棒向下延伸入核心。

早期的片狀燃料反應器的動力階只有一或二個百萬熱瓦。其限制因素有二：其一；反應器水池之水中的氧經中子照射成爲氮-16（半衰期7.3秒）。其二；分裂產生之熱能被水池中之自然對流冷卻。起初我們認爲動力不能昇高，因爲放射性氮將達池面，如果氮累積的比蛻變的來得快，對人有害。當然動力愈高放射性氮的產生愈多，同時熱量產生也愈多。

這個困難很巧妙的解決了。用泵或扇使水中的氮沉澱而在池底蛻變，這使得池面的水均不含放射性，做了工作人員的屏蔽。更進一步，用

能量很大的泵系統動力階在一百萬熱瓦以上，使水流經片狀燃料反應器之核心。另外用一個匣以容含氮之水，一直到其蛻變爲止。

有些水池反應器的核心被密閉在一個容器中，或充氣室中，冷水在此循環然後流入熱交換器（ *heat exchanger* ）。

有些水池反應器可改爲脈衝操作（ *pulsing operation* ），一座脈衝反應器其動力很快地昇至很高然後很快地下降。最新的一座水池反應器能做十百萬熱瓦的穩定操作（ 5×10^{13} *nv* 中子通率）及脈衝操作。

我國第一座反應器如圖 4 — 275命名爲清華水池反應器，於民國五十年四月十三日達成臨界運轉。是年十二月二日（世界第一座原子堆於1942年同一日達成臨界運轉）舉行正式落成典禮。

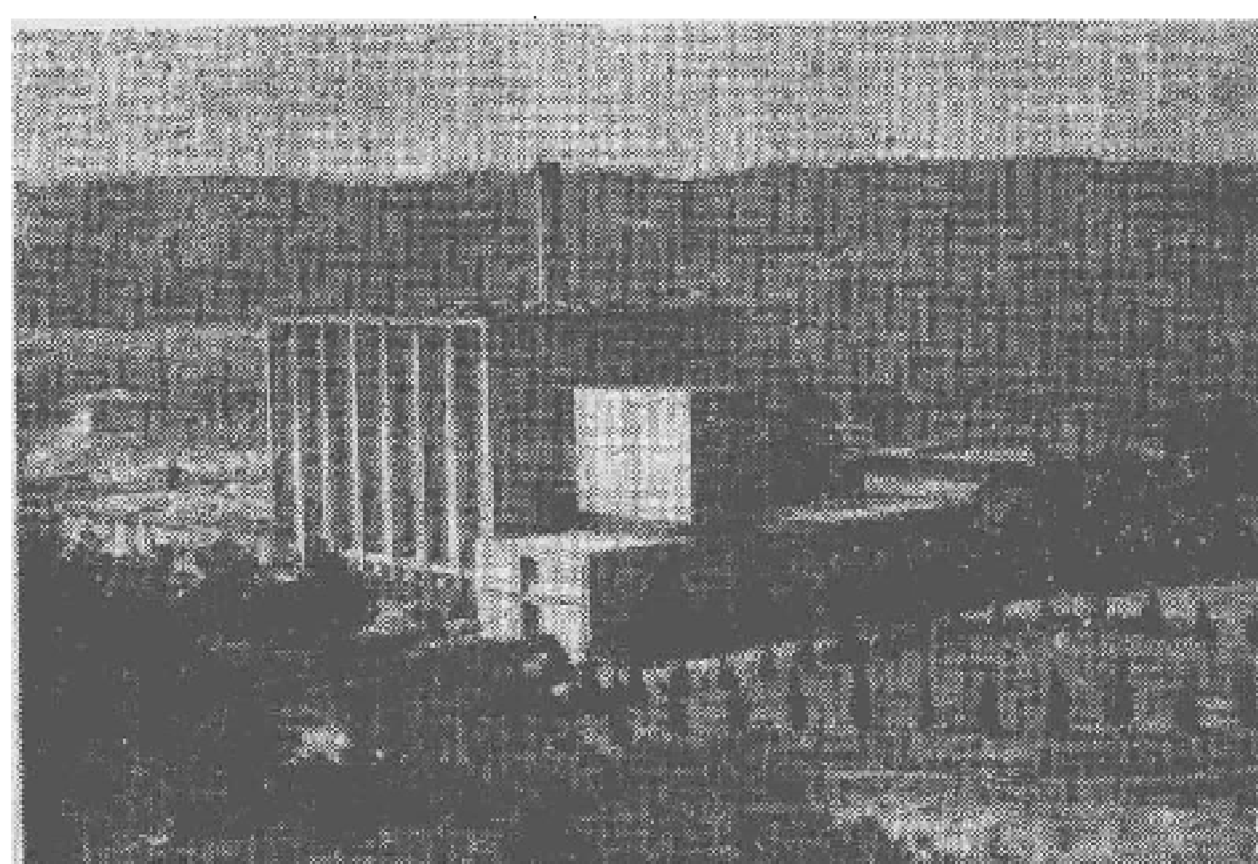


圖 4 — 275　清華反應器館外貌

國立清華大學 1 *MW* 水池式反應器特性

1. 反應器材料	
燃料	百分之二十濃縮鈾 - 235
緩和劑	高純度水
反射體	高純度石墨
冷卻劑	水
控制棒	硼、不銹鋼
遮蔽層	混凝土、鉛、硼、鋼、水
2. 一般特性	
平均熱中子流	5.8×10^{12}（中子 /平方厘米秒）

平均快中子流	2.0×10^{13}（中子/平方厘米秒）
臨界質量	3公斤之濃縮鈾－235
熱輸出設計值	一百萬瓦特
最大熱通量	36,500 *B.T.U.*/平方呎小時
爐心最高加瑪熱	每立方厘米0.9瓦特
冷卻劑流率	每分鐘1,500加侖
燃料表面最高溫度	華氏168度
熱交換器二次冷卻水流率	每分鐘1,250加侖
3. 控制棒	
控制元件（三片）	$\frac{3}{8}$吋厚，10$\frac{5}{8}$吋寬，40$\frac{1}{2}$吋高
控制元件抽出率	每分鐘3.5吋
調節元件（一片）	0.06吋厚，10$\frac{5}{8}$吋寬，40$\frac{1}{2}$吋高
調節元件抽出率	每分鐘78吋
4. 燃料	
型式	平板狀
元件數	34支
每一件之燃料片數	10片
燃料板厚度	0.25厘米
外包物	鋁（厚0.038厘米）
5. 反射體	
尺寸	2.85吋厚，2.85吋寬，30吋高
數量	23支
外包物	鋁（厚0.04吋）
6. 水池尺寸	
高能率部分	直徑9.5呎，深33呎
低能率部分	長20呎，寬12呎，深28呎

燃料貯存部分	長3呎，寬12呎，深15呎
7. 實驗設備	
熱中子室	一個（5呎×5呎×8呎）
實驗管（直徑6吋）	六根，對穿者一根
小實驗管	八根
照射容器	五只（3吋×3吋）
γ射線照射室	一只

【水車】（Water wheel）

利用水車做機械工作的技術，可能已有三千年歷史。從巴比倫王朝時代，歷經古代和中世紀，磨房和以後的打鐵房和鋸木廠，都利用水力驅動。而千萬所這類裝置，今天仍在世界各地使用。

1891 年德國第一條從勞芬（*Lauffen*）到法蘭克福（*Frankfurt-am-Main*）的電力輸送線成功以後，開拓了遠距離利用水力資源之路。從廿世紀開始水力發電進步迅速，致使今天利用水力發電和磨房直接利用水力的能量比，可能高過10,000對1的程度。

設備的技術也和輸出能量同時進步發展。原始的水車見圖4—276、4—277，裝用平板葉片，效率極差

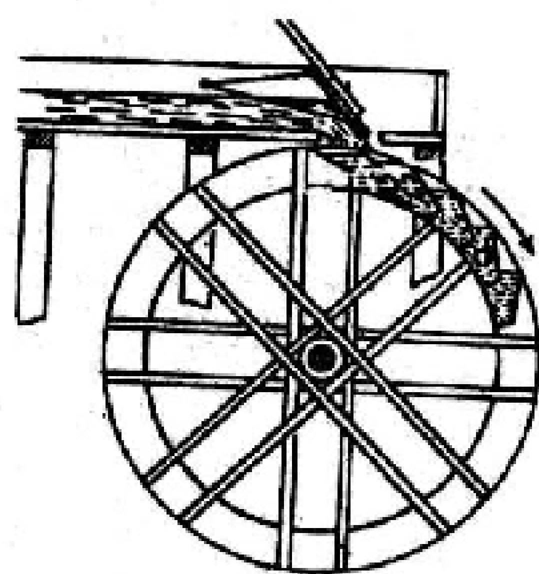


圖4—276　上射水車

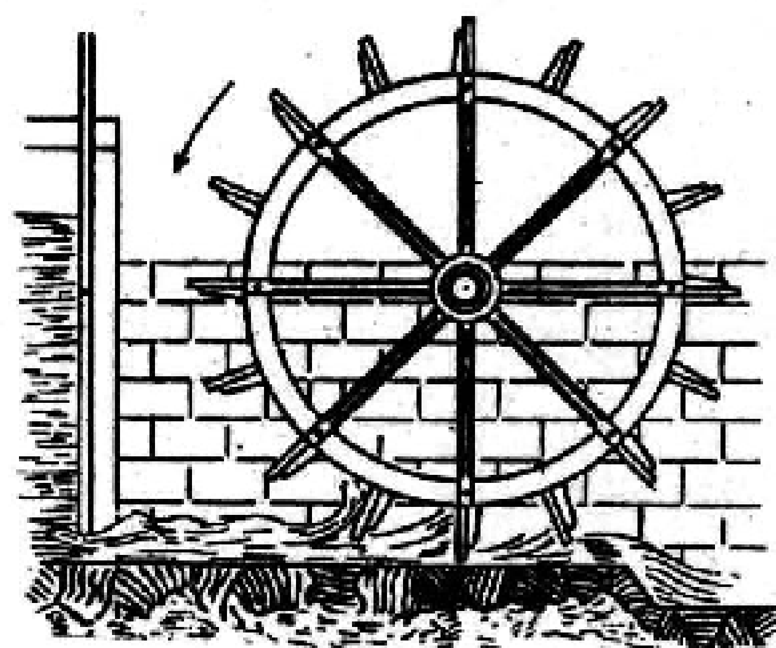


圖4—277　下射水車

，但能量需要有限的磨房並不覺得這缺點有甚麼嚴重影響，而在大型水力廠中，少量的損失都會嚴重影響能量的利用，必須立加改進，因此發展出三種不同型式的水輪機，分別適用於一定範圍的動力水頭（*power-head*），動力廠上方和下方水位差稱之爲“水頭”（*water head*

）。

水的位能從水力廠的水渠湧下變成動能，再利用其在葉片上的衝撞驅動水車，變成有用的功。若全部動能都能利用（亦即流動的水打到葉片後就完全靜止），這種變換裝置就達到了百分之百的效率。舊式磨房水車的平板葉片，即使受相當高下瀉的高速水注（*water jet*）衝撞，也不能得到100%效率。因爲水注打中葉片後四處迸濺，水中的動能一部分消失在水的亂流中。爲避免這種損失，

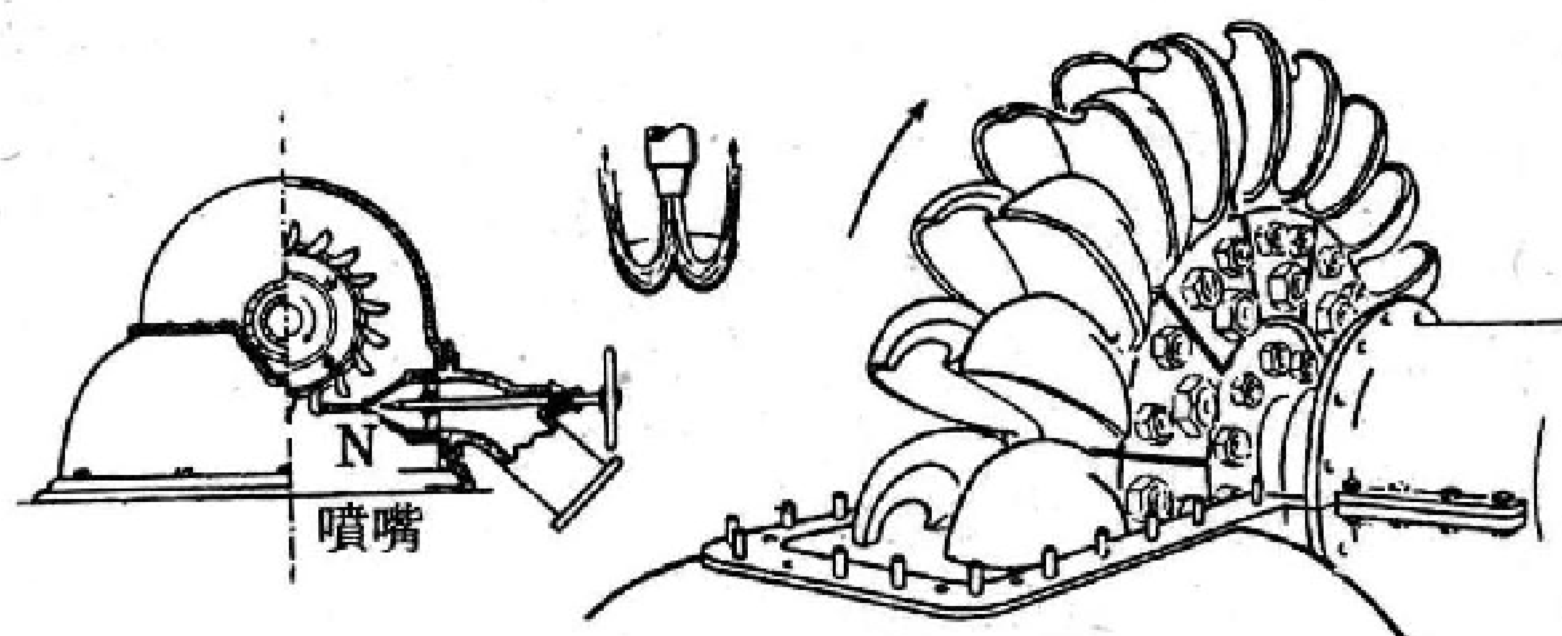


圖4—278　裴而同式水輪

所以裴而同式水輪（*Pelton wheel*）葉片作成兩個碗狀（如圖4—278）。水注的中心對準雙碗接邊，使水流一分爲二，每一半沿碗壁平滑流走，水對葉片的相對速度在不大的損失下最後轉與原來方向成180°位置。設v是水的絕對速度（也就是水對水力廠的相對速度）如水輪葉片的圓周速度保持在$v/2$，則水對後退中葉片的相對速度爲$v-\frac{v}{2}=v/2$，則轉向後噴射水注的絕對速度將爲$v/2-v/2=0$。即使這種情況不能完全實現，仍有一部分初速度留在溢水中，但這損失可能不大，因爲動能是與速度的平方成正比。如果有5%的初速度留在溢水中，則相對損失並不是總能量的0.05倍，而是$0.05^2=0.0025$倍，或是1%的1/4。

水頭高而水量相對不大的水力發電廠宜採用裴而同式水輪。從噴嘴（圖4—278中N）射出自由而高速的水注沖擊輪葉，而使水輪轉動。

較大水量而中等水頭的水力廠都不用自由水注。佛蘭西斯式輪機（*Francis turbine*）（如圖4—279）中的水流都流經環狀流道，中有

方向葉板，使水流自圓周斜向水輪軸中心。水流隨經適當形狀的輪葉改向，而以平行水輪軸方向流走。水量極大而水頭低的河流水力電廠則宜用卡布蘭式輪機(*Kaplan turbine*)，它是一個倒轉的船用螺旋推進器，或稱面推進器(*plane propeller*)。它像是一種旋轉中的螺絲，對介質產生軸向推力而使本身前進，流動中的水流卻使軸中心平行於水流方向的推進器旋轉。卡布蘭式輪機的特點是葉片傾斜角度可以調整，故可隨不同的水流速度調整螺旋的螺距，而永遠保持最高的機械效率。

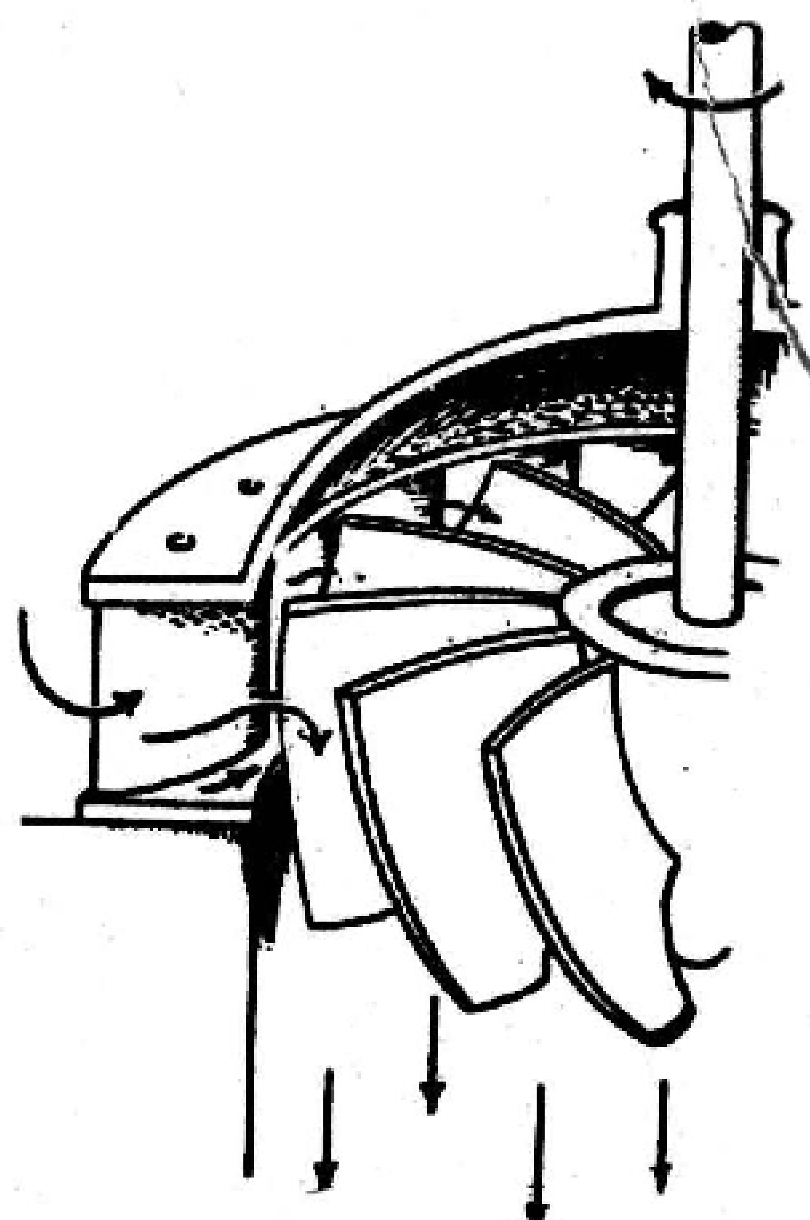


圖 4—279 佛蘭西斯式輪機

【水位計】(Water potential meter)

也叫液面計(如圖 4—280)。是一種利用連通管各管內水面恆爲同高的原理，來測知看不見的容器內液面高度的裝置。例如鍋爐、水塔、燒開水的鐵鍋等都常有這種裝置。

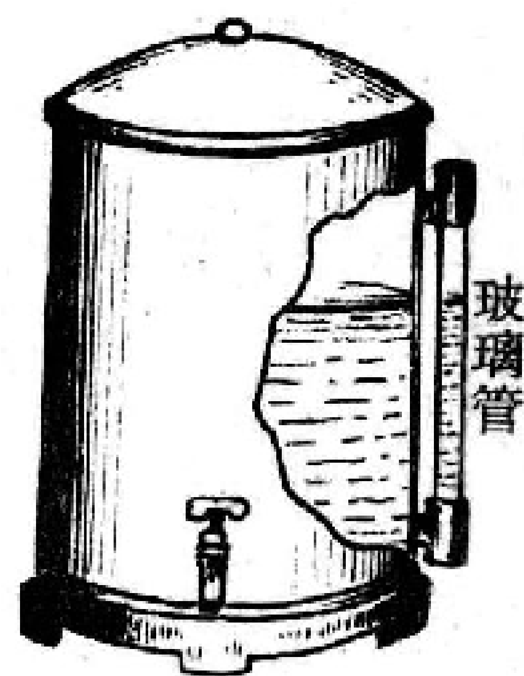


圖 4—280 水位計

【水冷管】(Water cooled tube)

強力發射臺的大功率管，其屏壓高達幾千幾萬，功率達到幾仟瓦至幾十仟瓦。因工作時，從陰極到達屏極的電子使大量動能化爲熱能，倘屏極輻射熱能不夠迅速，電子管將發生安全問題，普通水冷管就是爲此而設計，在電子管的屏極外面，製成金屬水槽，工作時讓冷水流過，將熱量吸收，以確保安全。

【水波槽】(Water wave tank)

爲實驗水之波動所用的儀器，主要的裝備有四方形平面玻璃爲底的

水槽，槽的四週有細格金屬網可吸收水波以免反射而擾亂所欲觀察的波形。水波發生器有線形波和圓形波發生器兩種，是利用一個小型馬達來帶動的。水槽正上方裝有一強光照明設備，把波形照射到槽下方的白紙上，用作觀察水波的進行。槽內水深約一厘米(圖4—281)。

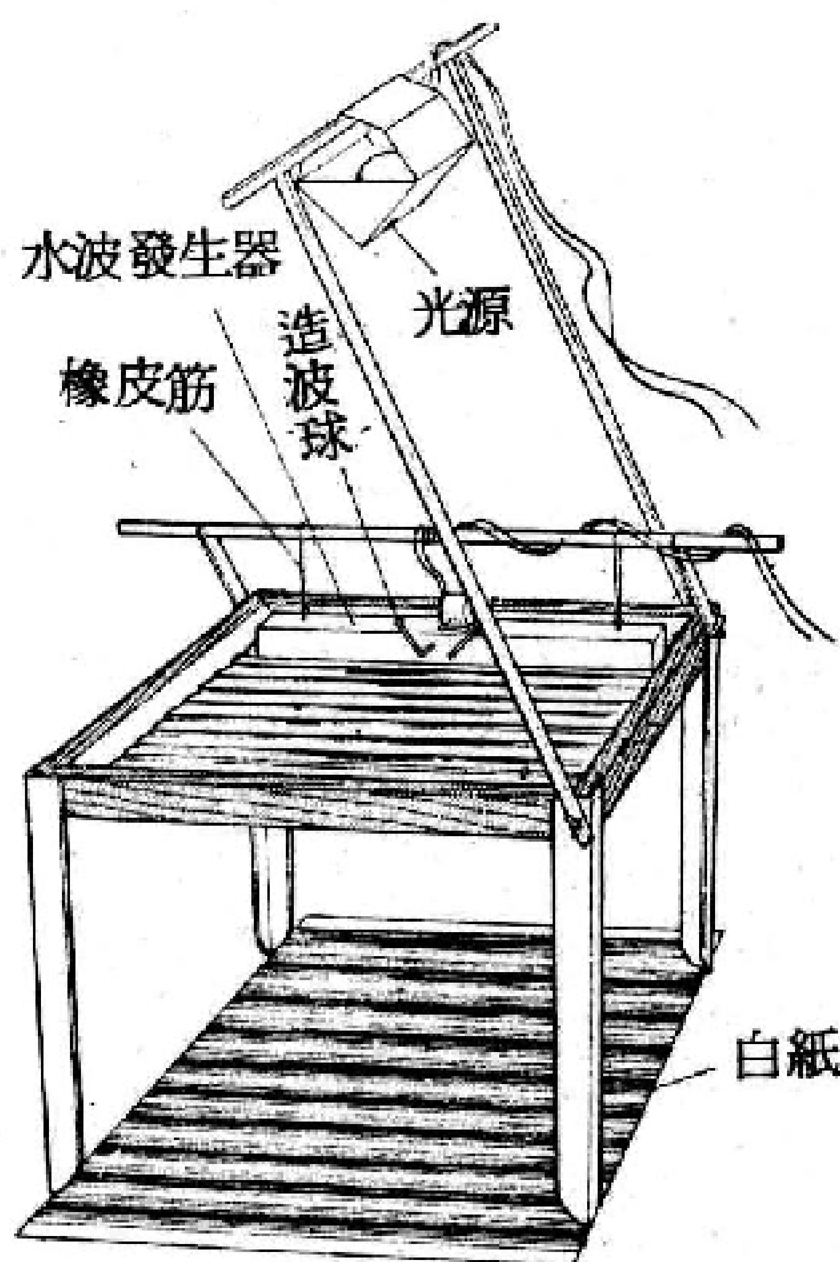


圖4—281 水波槽

【水星】(Mercury)

在太陽系內九大行星中，水星最小，又距離太陽最近，運行速度最快，故不易見到。其與太陽的平均距離爲5,787萬公里。軌道離心率0.20562，交角7度0.2分。赤道半徑2,421公里。離心率零。體積約爲地球的1/20。比重5.59，和地球略相等。反照率0.07，比月亮稍大；因其體積小，重力作用亦小，故表面不能有大氣存在，卽有之，亦必極微。因其半邊經常轉向太陽，所以水星向太陽的半面溫度在沸點以上，背太陽的半面，溫度極低，故其環境不容有生物的存在。

在地球上看水星，與月亮相似，水星會隨著太陽的角度而有盈虧的現象。它和太陽的角度不會離開28度以上，傍晚太陽西沉以後，它會在西天上的低處出現，並發明亮的光。

水星自轉週期爲88日，繞太陽的週期爲87.97日。當水星通過太陽面時，叫做水星凌日(*transit of mercury*)；這時候太陽面上約呈直徑11″的小黑點，所以肉眼看不見。凌日時期非在五月，就是十一月。

水星的近日點，每世紀向東移動574″，因爲其他行星擾動的影響者約532″；其他42″可由愛因斯坦的相對論證明之。與地球之作用於

月球一樣，太陽作用於水星的潮汐摩擦（*tidal friction*）是相當強烈的。我們可以預期在一定時間內，水星必可由原始的自轉速度變成在潮汐作用下穩定的狀態。一個以圓周軌道運行的行星，最後的情況會像月球一樣，它的公轉角速度與自轉角速度相等。水星之所以異於月球，乃在於水星軌道的離心率。既然水星的離心率是0.2，自轉運動受離心軌道的影響，而產生了特殊的結果。

太陽作用於水星的轉矩（*rotating torque*）與距離之六次方成反比，當水星以離心軌道繞太陽運動時，它與太陽之距離不同，轉矩因而也不同。水星在近日點時，所受的轉矩最大。由此可知水星的自轉角速度必大於平均公轉角速度，而小於在近日點的公轉角速度。這二個數據分別是

$$\frac{2\pi}{88} \text{ 及 } \frac{2\pi}{56.6} \text{ 弧度/天}$$

水星的自轉週期應當在 56.6 與 88 天之間。

在這兒值得注意的是水星的自轉週期剛好等於公轉週期的三分之二。

假定水星原來的自轉速度比現在快得多，那麼水星在太陽潮汐作用下，自轉逐漸減慢，至週期爲 59 天時，自轉與分轉速度在三比二之共振下成穩定狀態。

【水星計劃】（Mercury plan）

美國第一個太空人是在此計劃下送入軌道的。計劃開始於1958年十月五日，目的在送人進入軌道以觀測其在飛行中的反應能力，並使太空艙及太空人安全返回地球。經實際發射後顯示火箭昇空時及太空艙進入大氣層所產生的極高加速及減速，以及在軌道中 34 小時之中無重力情形並未影響太空人控制太空艙的能力，並能作科學上的觀測和試驗以期能延伸及澄清所攜帶儀器之測量結果。更進一步，太空人可以對那

些未能預料的情形加以隨機應變的處理並予以記錄。太空人並可以在無重量情況下以特殊的食物和飲料承裝器進食。這些都給予我們一個很好的基礎來發展未來的計劃。

【水面光環】(Light ring on water surface)

水底置一發光體，其射向水面的光線小於臨界角者，方能射出，故在一定半徑之內可見此發光體在水內；過此範圍，在水內（如水盛於透明容器中，在其下亦可）適當位置向上觀看，即見由全反射形成的發光體之像高懸空中。若此一發光體爲明亮之燈光，則有圓形光環映現於池面。

在盛水之玻杯外近底處置一物，若在杯之另一邊較低處窺察，則因水之全反射，可見此物之像倒置空中。

【水秤】(Water balance)

是利用連通管各管水面同高之原理，蓋房子時用來使地基保持同一水平面高度的一種裝置（如圖 4—282）。

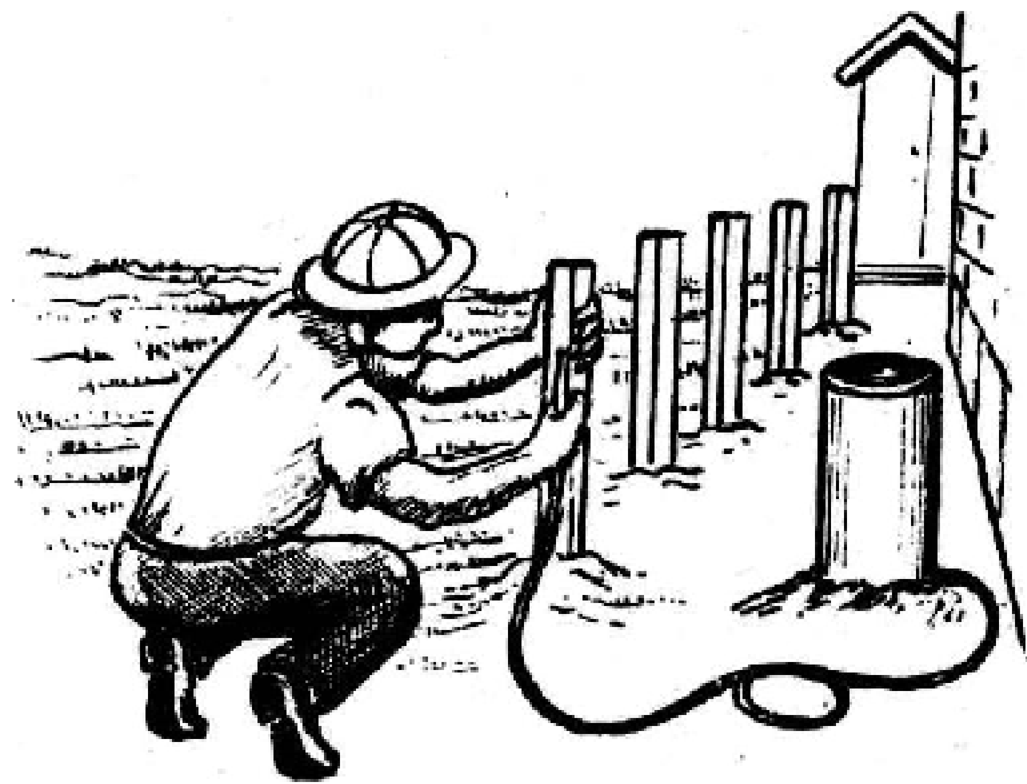


圖 4—282　水秤

【水庫】(Reservoir)

又稱作人工湖。它是以一項結構物橫跨河川，將河川的水位擡高並作短時蓄積，這些蓄積的水量俟下游有需要時再在控制之下放出。這需要有的是農田的灌溉、水力發電、自來水系統；也有的是單純的要將河川在乾枯季節時的水量增加以保持河川中航行船隻所需的水深。調節乾枯季節河川水量的另一項功用，是冲淡污染物質的濃度使河川水質達到衛生標準。用在上述各目的的水量是一個水庫的效益蓄積水量（*benefit storage*），因爲這是在流量大時存下作乾枯季節之用，間接地也有減輕洪水災害的作用。至於水庫的防洪容量（*flood storage*）

在洪水季節來臨前是完全空的。

【水圈】(Hydrosphere)

水圈是地殼上水的不連續層，包括有海洋、川湖、地下水及冰雪。海洋最大，佔地表面積 361×10^6 平方公里 (km^2) 或 70.8%，以平均深度 3,800米計，總容積爲 1.372×10^6 立方公里 (km^3)。在海面 0°C ，其密度爲 1.028，愈深則因水壓而增大，如依克拉克(*Clarke*)取其平均密度 1.03 乘以容積得其總質量爲 1.413×13^{21} 克 (*g*)。水圈的其他部分之面積，容積及質量更難測定。依哥德斯密 (*Goldschmidt*) 估計，在地表每 1 平方厘米 (cm^2)內有各種形態的水共 273 升 (*l*)，其分配比例如下：

海水	268.45 升	278.11 公斤
淡水	0.1 升	0.1 公斤
冰	4.5 升	4.5 公斤
水蒸氣	0.003 升	0.003 公斤

由此計算，得淡水的質量爲 0.51×10^{21} 克，冰的質量爲 22.83×10^{21} 克，則水圈質量的 98 %爲海水，佔地球質量的四十萬分之一。

淡水及冰雪量少，故可用海水成分代表水圈之平均成分。計算海水成分普通採用氯度 (*chlorinity*) 及鹽度 (*salinity*) 二種隨意規定的量。氯度是依因加銀鹽而生的滷化物沉澱而定，實即 1 公斤海水中所含的氯化物、溴化物及碘化物之總克數 (假定溴化物及碘化物曾經全被氯化物代換)。鹽度可由氯度計算或可由密度測定而決定之。氯度及鹽度習慣上都用每公斤海水中克數(*g / kg*)或海水千分中之分數 (‰) 表示之。在開放的海洋鹽度平均約 35 ‰ ，但在紅海及波斯灣，其處因蒸發快，進流及沈澱少，鹽度高至 40 ‰ 。在海水各試樣中，各種不同離子的相互比例實際上是常數，因此決定一個成分，即可計算其他成分。

海水的標準離子成分依瓦登堡 (*Wattenberg*) 以氯度 19 ‰ 爲準

者如下表。

海水離子成分表

離子	$Cl = 19.00‰$	%
Cl	18.980	55.05
Br	0.065	0.19
SO_4	2.649	7.68
HCO_3	0.140	0.41
F	0.001	0.00
H_3BO_3	0.026	0.07
Mg	1.272	3.69
Ca	0.400	1.16
Sr	0.008	0.03
K	0.380	1.10
Na	10.556	30.61
	34.477	99.99

如將各種離子組成鹽類來看，則海水 1 公斤中含有固形鹽量如下（來曼、佛萊明所訂）：

海水標準成分表

鹽	g/kg
$NaCl$	23.447
$MgCl_2$	4.981
Na_2SO_4	3.917
$CaCl_2$	1.102
KCl	0.664
$NaHCO_3$	0.192
KBr	0.096

H_3BO_3	0.026
$SrCl_2$	0.024
NaF	0.003
	34.482

河川之成分，據克拉克就各系不同河流規定之平均成分，如下表所示：

河水溶鹽成分表

離子	河水	海水
CO_3	35.15	0.41(HCO)
SO_4	12.14	7.68
Cl	5.68	55.04
NO_3	0.90	—
Ca	20.39	1.15
Mg	3.41	3.69
Na	5.79	30.62
K	2.12	1.10
$(Fe,Al)_2O_3$	2.75	—
SiO_2	11.67	—
Sr,H_3BO_3,Br	—	0.31
	100.00	100.00

由成分比較，知海水與河水溶鹽成分恰相反；在海水中$Na > Mg > Ca$及$Cl > SO_4 > CO_3$而在河水中$Ca > Na > Mg$及$CO_3 > SO_4 > Cl$。

【水唧筒】(Water pump)

水唧筒是一種唧筒，通常是離心推進器式，用以激動冷卻流體在發動機的水套中循環。

【水當量】(Water equivalent of calorimeter)

即熱容量，一物體之熱容量，指的乃是可使該物體之質量升高溫度 1°C 之熱量。一物體之熱容量(*thermal capacity*)愈大，則使其升高溫度 1°C 所需要之卡路里(*calorie*)熱量也愈大，或用另外一種說法，那便是：如使此一物體吸收一定量之熱量，則其能增高之溫度也就愈少。如以下式來表示，則

$$H = m \times c$$

這也就是說，以卡爲單位之熱容量＝以克爲單位之質量×比熱。例如：500 克之銅，其熱容量爲 500 × 0.091 ＝ 45.5 卡，而 500 克之鉛，其熱容量則只有 500 × 0.031 ＝ 15.5 卡，換句話說，要使 500 克之銅或鉛，增加溫度 1°C，其所需之熱量即爲 45.5 卡或 15.5 卡。今如分別有 45.5 克或 15.5 克之水，則其所具有之熱容量亦必分別爲 45.5 卡或 15.5 卡。因此，一物體之熱容量，亦可稱之爲該物體之水當量。

在卡計測熱法中，此一水當量佔有極重要之地位。由於卡計之容器必須一同加熱的緣故，所以它也吸收了一部分的熱量。爲了要達到精確的計量，我們必須將卡計的水當量考慮在內，這也就是想像中的定量之水，該水量於增高溫度 1°C 時所需要的熱量，剛好等於使卡計本身連同溫度計與攪伴器增高溫度 1°C 所需要的熱量。倘若卡計中被加熱的是水，則容器中的眞正水量，就好像又加上了容器的水當量而變爲更多的水量。

【水準儀】(Spirits level)

即水平儀。

詳閱“水平儀(*Spirits level*)”條。

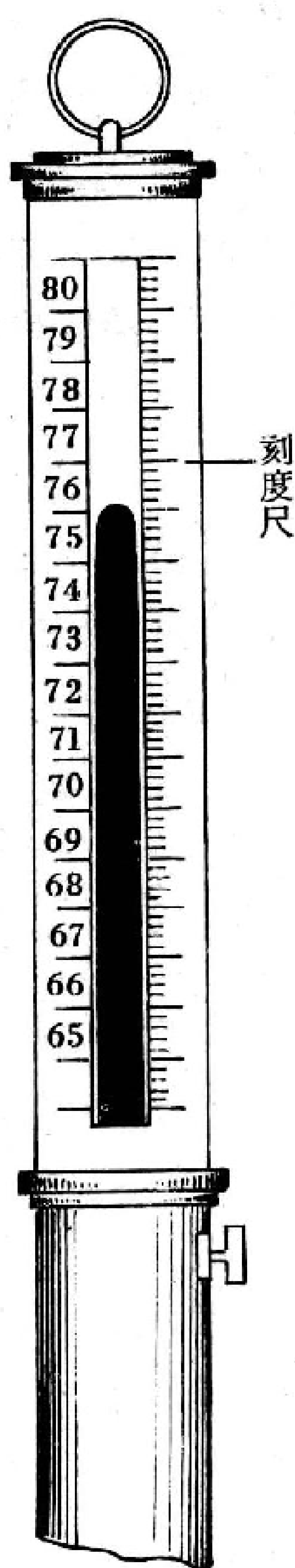
【水銀】(Mercury)

自然界中唯一的液態金屬，溶點－39°C，原子序 80，沸點爲 357°C，蒸氣有劇毒。能溶解許多金屬而成合金，稱爲汞齊。理化實

驗器材上要用到水銀的地方很多，如氣壓計、溫度計及汞化合物等。

【水銀氣壓計】(Mercury barometer)

利用托里拆利管以測定大氣壓的裝置。底面裝皮囊以便盛水銀，並附有可以調準的象牙針使其指示水銀面者，叫做福廷水銀氣壓計。其構造如圖4—283所示。在玻璃管外加上金屬護套，套管上製有量度水銀柱高度的刻度尺。在水銀槽頂上另裝一枚象牙針，針尖正好位在管外刻度尺的零點。另作鞣皮袋作爲水銀槽底。使用時，輕轉皮袋下螺旋，使槽內水銀面恰和象牙針尖接觸（即與刻度尺零點平齊），然後由管上刻度尺讀取水銀柱的高度，亦即爲當時大氣壓的大小。



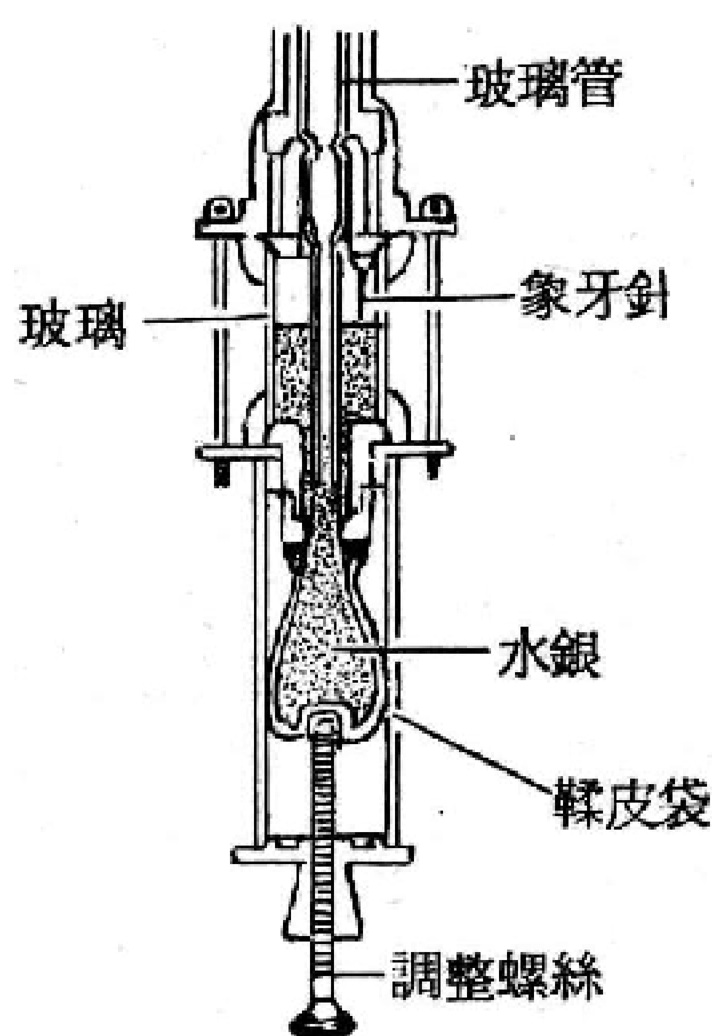


圖4—283　水銀氣壓計

另外又有不須調準象牙針的觀測站氣壓計，可測到低氣壓的山岳用氣壓計，以及對船的搖動不易變動的航海用氣壓計。

氣壓的絕對測定須使用水銀氣壓計，其準確度通常爲1/100 毫米水銀柱。在*U*形管內放水銀後，將上面做成高度眞空，然後使用標準尺，測量兩水銀面的高度差，這時應注意到刻度尺的傾斜，水銀的密度、溫度，管上面的眞空度、水銀的氣壓、水銀的毛細降下等。

【水銀開關】(Mercury switch)

膈自動開關的一種，是利用溫度改變而完成控制動作者。

【水銀溫度計】(Mercurial thermometer)

是利用水銀的熱膨脹而製的溫度計。刻度正確，可以測量到三百多攝氏度數。但由於熔點的關係，測量 − 30 °C 以下的低溫時，是不適合的，因水銀在零下 39 ℃ 凝固，因此在此低溫下無法用來制定溫標。

【 I 】水銀溫度計的製造

在製造水銀溫度計之前，首先要將一根壁厚、孔細而口徑均勻的玻管的一端，吹成一個壁薄的球形或是圓筒形的容器。水銀是在某種特定溫度下注入球形容器與玻管之中，此溫度須比F 後所需量度之最高溫度更要高些。然後將全部灌滿水銀的玻管頂端，用熱烈的火焰予以熔合。水銀冷卻後，即行收縮，故在封閉管口的頂端，留下了一段眞空部分。

欲進行溫度計管壁之分度工作，必須採用二固定點，作爲永不改變的標準。事實上顯示的是：每一物體，當其插入於正在熔解之冰塊中時，輒能保持其同樣的膨脹性。因此，我們可以這樣說，任何一次的熔解現象，都是在同一溫度之下發生。在不變的空氣壓力之下，水之沸騰現象也總是發生於同一溫度之下。採用此二固定點，以進行溫度計之校定工作，係由佛羅稜薩學院院士雷那地尼 (*Carlo Renaldini*)所建議。現將溫度計的容器部分及管壁的下端部分，插入於正在熔解之冰塊中，有如圖 4 — 284所示，並於管中水銀面維持不變之處，刻一記號 (下固定點)。然後再將全部溫度計，置於水蒸氣中 (圖 4 — 284)，該水蒸氣是由沸騰水面經夾層通道而上升者。此時，水銀細柱又停留於一點而不動 (上固定點)。此

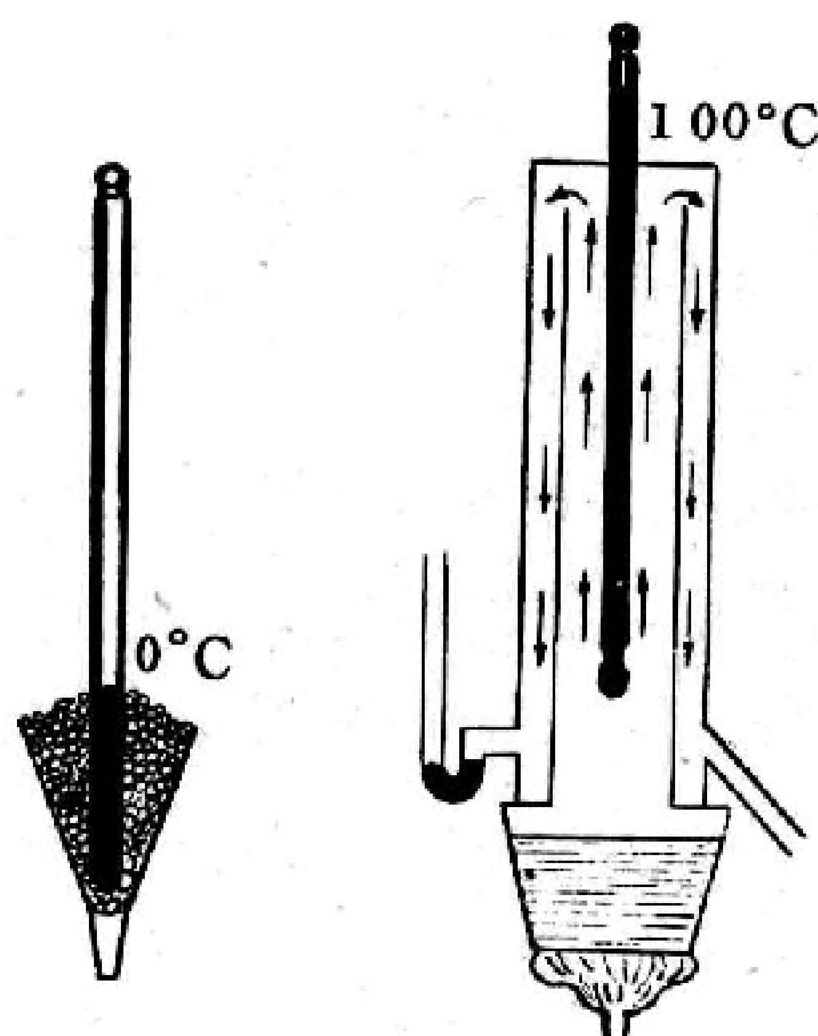


圖 4 — 284
測定水銀溫度計之下固定點與上固定點

點之測定，必須於 760 *mm* 之氣壓下行之，因爲在另一氣壓下，水將於另一溫度下沸騰。而下固定點很少會受到外界壓力的影響，所以我們於測定該點時，通常可以忽略壓力方面的影響。於是我們可以確定地說：下固定點就是冰的熔點，同時也就等於是水的凝固點；至於上固定點則是水於 760 *mm* 氣壓下所達到的沸點。此二固定點之間的距離，我們稱之爲基本標距。此段標距之長短，是隨著管徑與溫度計上容器部分的大小而有所不同。若將這段標距分成100等分，則當玻管各處都具有同樣的橫切面積時，在任何相連二刻度線之間，就都含有同樣的體積。每一等分即稱爲一度（ 1° ）。在下固定點處，我們標以 0° 的記號；在上固定點處，則標以 100°的記號。

爲著要擴展這一段標尺，我們再在熔點以下及沸點以上的地方，加刻同樣長的標度。刻在 0° 以下的標度，我們稱之爲冷度或負度，刻在 0° 以上的標度，稱之爲熱度或正度。依此，＋30°即係 30° 熱度，－8°則係 8°冷度之意。這一個數字之前的符號，並不表示冷與熱之間的對立性質，而只不過是表示對於某一任意選定的零點的位置。同時我們也不能說＋30°的溫度，恰好是＋15° 的一倍， 因爲眞正的“溫度基準”是位於－273.2°左右。

由於溫度計之基本標距，係被均分成 100等分，所以又稱該溫度計爲百分溫度計。這是由瑞典天文學家攝爾修斯（ *Anders Celsius* ）所首創。當時他以冰點爲 100° ，以沸點爲 0°。但是在 1750年間，已由瑞典學院將攝爾修斯當年的標度改變成目前通用的型式。在今日，此一改變後的標度，便被稱爲攝氏溫標（ *Celsius' thermometric scale* ），而該溫標中的一度，就被稱爲攝氏一度（ 1°C ）。

爲著要使每一分度有足夠的距離，可以再讓我們清晰地分辨出半度和四分之一度起見，所以我們必須將管徑做得十分細小。通常我們只須將玻管做得使其最高點及最低點之量取，恰巧能符合某種特定的要求即

可。例如診病用之體溫計，就只含有 36 °至 42 ° C 部分之溫標。

除了攝氏溫標外，歐美各國也常採用華氏水銀溫標，此溫標是以 32 °爲冰點，以 212 ° 爲沸點，其中等分爲 180個刻度，兩種溫標之關係爲

$$°F = \frac{9}{5}\ °C + 32$$

$$°C = (\ °F - 32\ )\ \frac{5}{9}$$

【 II 】水銀溫度計有幾項缺點

1. 爲著要有準確的計量起見，我們必須將溫度計玻管之橫切面（口徑）加以檢驗。如果玻管各處之口徑粗細不一，則水銀柱長度便不會隨著體積相應地同等增加。因此，我們必須將一支已完成之溫度計玻管，用一根標準水銀細柱，將現有的長度等分，校正爲準確的體積等分。像這樣校正每一等分所需要的更正數值，就編列在一個總表上。

2. 玻管中水銀之體積增加，只是一種屬於表面性的數值，因爲玻璃本身也有膨脹性，所以溫度計容器部分及玻管部分的體積也同時在增加，結果我們所能讀出的只不過是水銀膨脹數值與玻璃膨脹數值之間的差數而已。所以溫標與所採用的各種玻璃的膨脹性有密切關係。二支採用不同種類玻璃所製的溫度計，除了在 0 °與 100 ° 二種溫度上必須互相符合外，在其餘各溫度上，彼此之間永遠不會完全相符的。

3. 所有各種玻璃，多少都會顯出一種所謂熱後效應。在吹製溫度計的容器部分時，玻璃被燒成紅熱的狀態，但於製成後的一段極長時間中（有時是以好幾年來計算的），都可完成一種收縮作用。此種收縮作用，會使基本標度不斷上升。此外，要使玻璃在改變溫度後，能具有與其相應的體積，也非有一段較長的時間不可。這種後效應，在德國耶拿（*Jena*）的幾種玻璃出品後，才能幾乎免除。

4. 水銀溫度計的計量範圍，就是在最良好的情況下，也只能限於水銀凝固點與沸騰點之間的這一個範圍內（－38.87°C至356.7°C）。

【水銀燈】（Mercury vapour lamp）

爲紫外線光源，可用作保健與殺菌之光源。其種類按照使用時水銀氣壓之高低分爲低壓、高壓與超高壓水銀燈（圖4—285）。

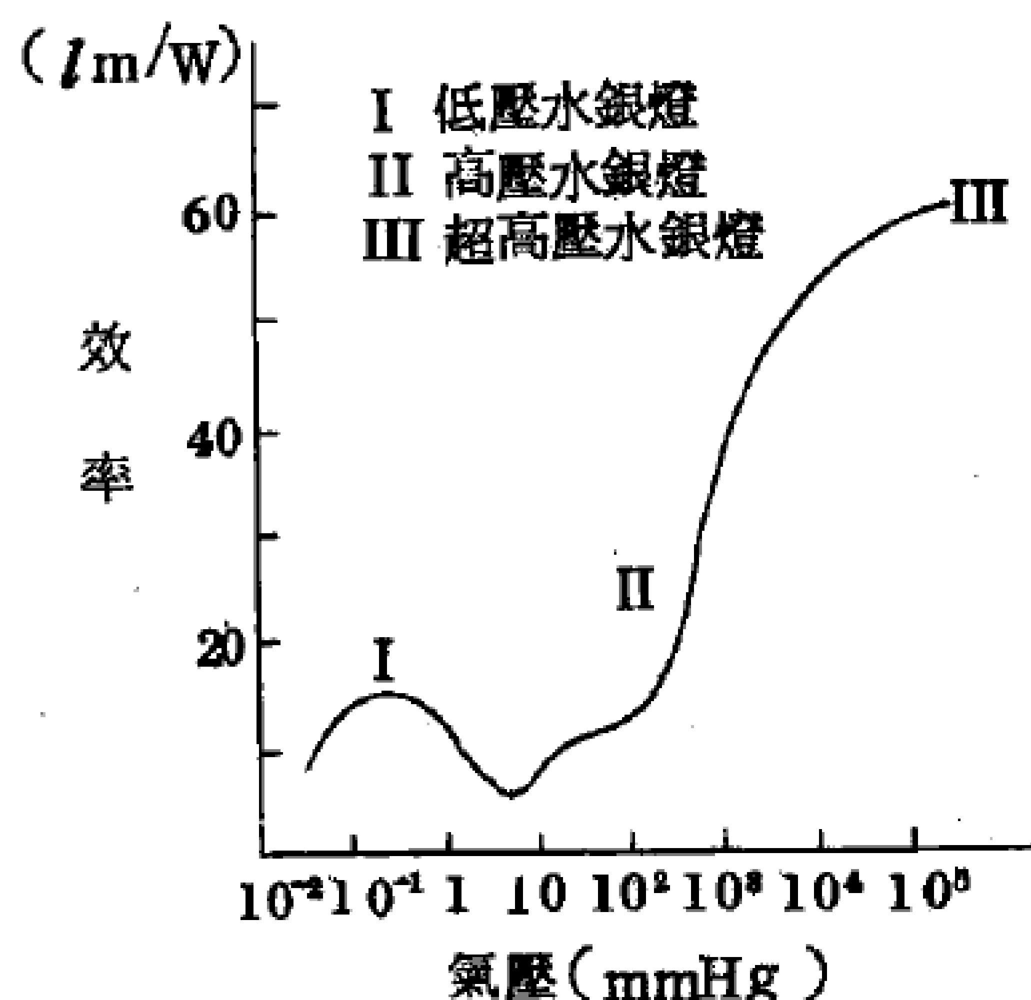


圖4—285 水銀燈的氣壓與效率

【Ⅰ】低壓水銀燈

與日光燈構造很相似，不同的地方是使用紫外線可透過玻璃並不塗上螢光的物質。2,537Å的線光譜最強。螢光檢查燈（圖4—286）也是這種燈。如使用石英玻璃會發出波長1,845Å的光而產生臭氧效果。

【Ⅱ】高壓水銀燈、超高壓水銀燈

雙管構造，內管是石英製直徑約爲25 毫米左右，在內管內封入水銀和氬。設計時注意到在點燈時全部水銀都蒸發

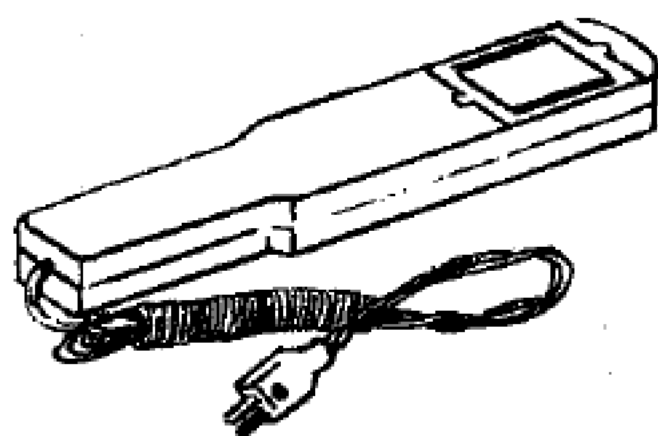


圖4—286 螢光檢查燈

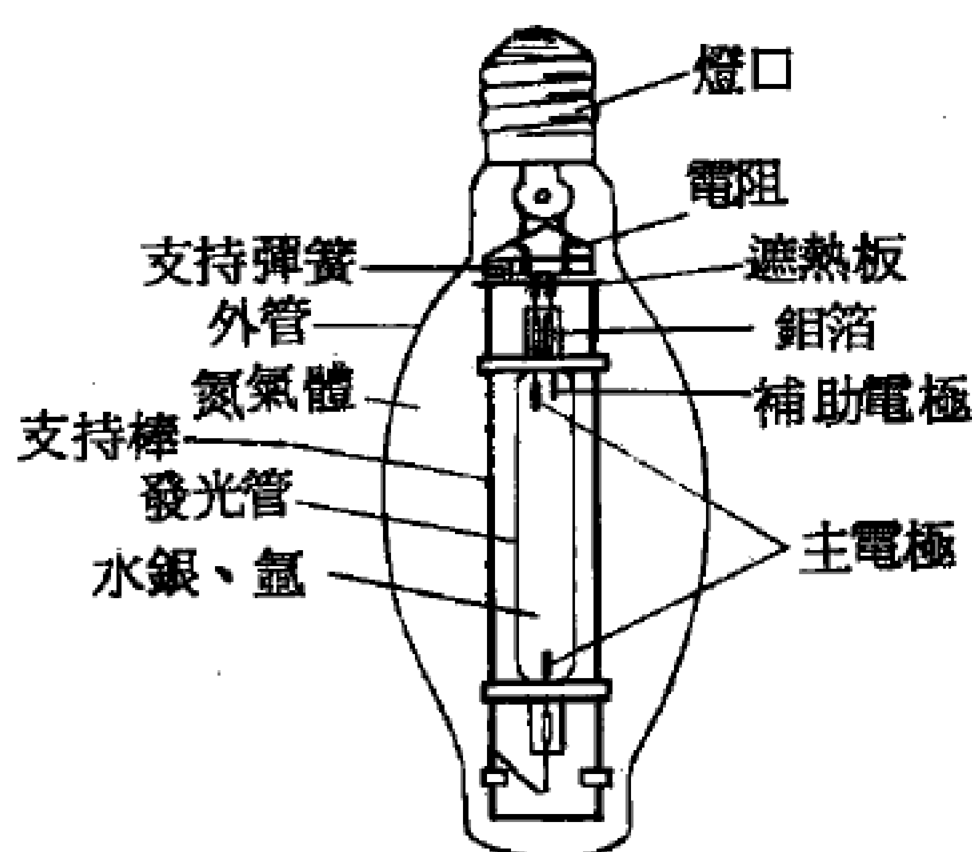


圖4—287 高壓水銀燈

而能保持一定密度。電極為塗上鹼土金屬氧化物的鎢或加釷的鎢。開始時氬先放電，溫度上昇，引起水銀汽的放電。因氣壓高，原子間作用力強而連續光譜相當強。高壓水銀燈（如圖 4 — 287）為 1 ～ 3 氣壓，超高壓水銀燈為 10 ～ 200 氣壓，其效率、色光、輝度、壽命等比其他光源優秀，是紅外部到紫外部的廣範圍光源。

【水噴式抽機】（Water-jet pump）

從狹窄管口使水流噴出，而利用其附近的壓力減少，以抽出空氣或流體的裝置，叫做水噴式抽機。在實驗室使用者皆以玻璃製成，由上端送進水流（接在自來水龍頭），而經由旁邊的管吸出容器內流體，流體即隨同水流放出下面管外（如圖 4 — 288）。

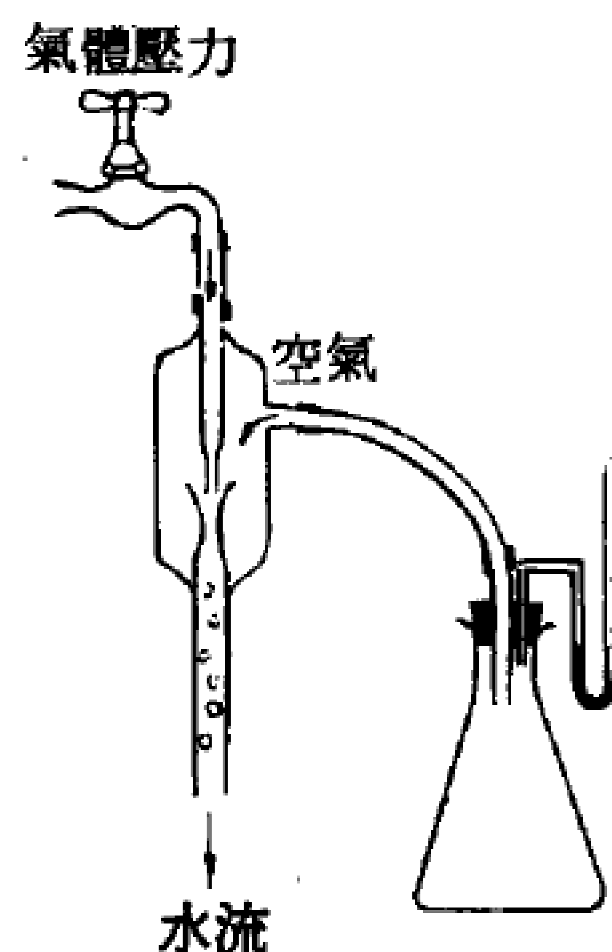


圖 4 — 288

【水壓】（Water pressure）

指水的壓力。用容器盛水時，由於水有重量，就有相當於那麼多重量的壓力。向容器的壁與底部的面作用。

【Ⅰ】

盛在容器中的水，對側面與底面有壓力作用。

【Ⅱ】

不論就任一方向的面而言，壓力總是垂直於面，而且深度相同時，壓力強度也相同。

由下例之實驗，可對水壓有一較具體的認識：

1. 在一個玻璃管底部，加一片塑膠板，直放入水中時，可以看出塑膠板不會掉下去。這是由於水對塑膠板有一種由下往上推的力的關係（圖 4 — 289）。

2. 如慢慢地將水一點點灌入玻璃管中，管內的水面未接近管外水面時，塑膠板不會掉下。改變玻璃管在水中的深度，結果還是一樣。即

玻璃管內的水的壓力與水深成比例(圖4—290)。

3.把玻璃管傾斜，結果也是一樣。即水的壓力向上、向側面都會作用(圖4—291)。

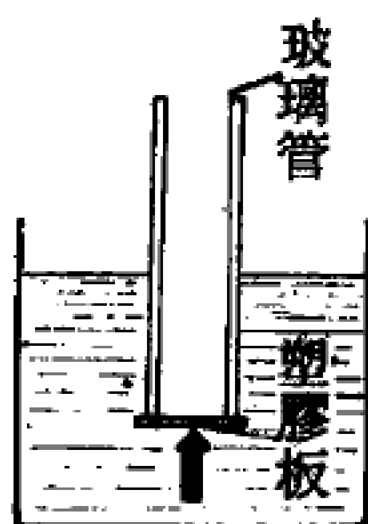


圖4—289

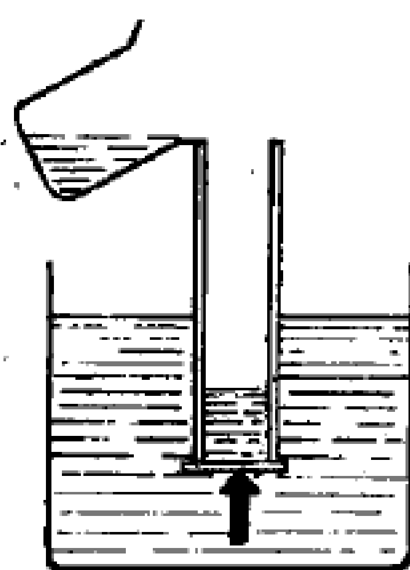


圖4—290

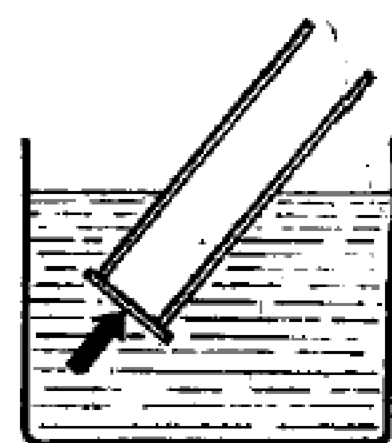


圖4—291

【水壓機】(Hydraulic press)

水壓機係利用巴斯噶原理(*Pascal's principle*)，由小力獲得大力的機械，爲英人布拉麻(*J. Bramah*)所發明。在流體內產生壓力，一般皆是利用圓筒和活塞，在工業上則利用各種高壓喞筒(高壓壓縮機)，而將水或油當做工作流體。

【水鍋反應器】(Water-boiler reactor)

水鍋反應器是一種研究用反應器，並非眞正使水沸騰，只不過燃料是溶於水中的鈾鹽類。當反應器在運轉時，放出產生之氣泡，使溶液看起來像沸騰一樣。

水鍋反應器可能是所有反應器中最簡單的一種。它的構造最主要的是一個不銹鋼的圓球，裏面有一個圈管(*coil of tubing*)，球上有幾個開口，其中一個流入溶液，另一個可插入控制棒以調節反應之速率，還有一個排除產生之氣體。

這個圓球(見圖4—292)永遠放在反射體的中心。雖然

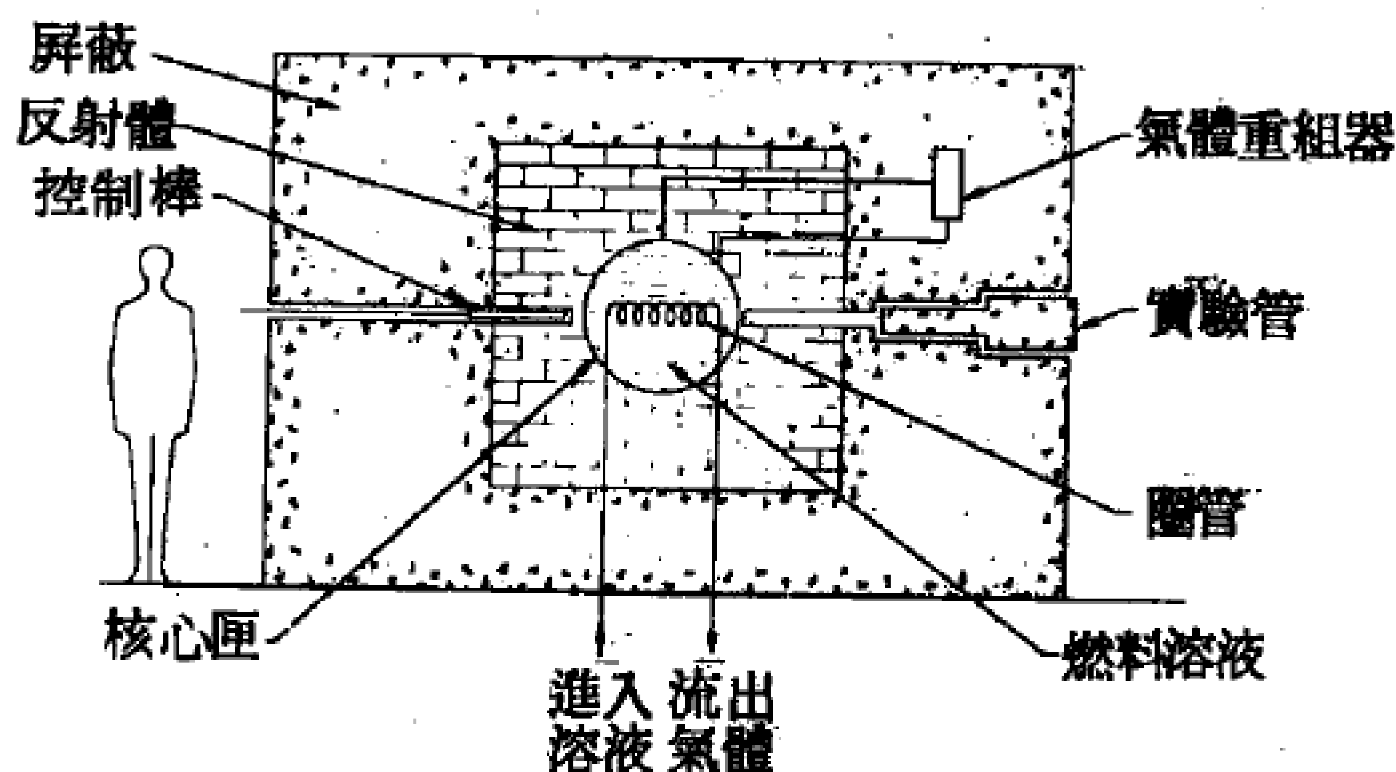


圖4—292　水鍋反應器簡圖

鈹及二氧化碳也可以，但通常是用石墨做反射體。

此種裝置可使中子流入球外之實驗裝置。

當反應器不運轉時，燃料溶液（通常是硫酸鈾）以不至發生鏈反應的形式貯藏在管中。當起動時，溶液被打入球內，同時抽出控制棒，以調節反應速率。冷水自圈管流過以移去熱量。

雖然水鍋反應器非常簡單，其所需之屏蔽與同等動力的其他反應器相等。

水鍋反應器的動力限制在 50 熱仟瓦以下，但它有許多方便之處：沒有製造燃料的費用，因爲燃料只是以溶液的形式存在於反應器中。當需要較多的燃料時可以容易地加入。其不便處是燃料的漏出及污染。

芝加哥阿摩研究所（*Armour Research Institute*）的水鍋反應器有五個實驗管、兩個穿通管、四個垂直管、一個熱中子室、一個加瑪照射器以及一個凹形管（*reentrant tube*）。凹形管直接經過核心以用來照射需要最高通量的物質，以及研究各種鏈反應中的效應。

【火山】（Volcano）

地殼並不是全部堅固的，而且厚薄也不均匀；隨著地殼的運動，有些地方還會產生裂縫，在有裂縫的地方，地殼上層的壓力就會減少。內部高壓迫使有毒氣體、蒸氣和熔岩從此湧出，就是火山。

火山不是噴火的山，從火山裏噴出來的，只有灼熱的氣體、熔岩、岩塊和灰燼。

當這些東西從火山口裏噴出來的時候，在白天，它是濃黑色的；在夜裏，由於火山口裏灼熱熔岩的關係，把煙雲映成褐紅色，好像噴火的樣子。

火山爆發之前，火山的內部先發出一種轟隆、轟隆如打雷一樣的響聲；同時，火山周圍的地面上，也開始抖動起來；接著火山口裏便噴出大量灼熱的水蒸氣、熔岩、岩塊和火山灰，形成一股黑騰騰的煙雲。這

種濃黑的煙雲直冲天空，比炮彈還要快。有時，這些升起的煙柱，甚至可以高達十公里以上。

煙雲升起以後，就在高空中形成一團墨黑的烏雲，它像一幅巨大的黑幕，一霎時就把太陽遮了起來，使火山附近地區的天空，變成漆黑一片。

水蒸氣升到高空，遇到上面的冷空氣，就凝結成密密的雨點，落了下來。這時候，隨著大雨落下來的，還有可怕的石頭雨。這種石頭雨裏夾雜了有像兩層樓房那麼巨大的石塊，有像牛一樣大的火山彈，有像胡桃和豌豆大小的火山豆，還有像粉一樣的火山灰。

最後，火山就會來一次激烈的爆炸，火熱的熔岩迅速湧出地面，這些熔岩簡直像一條火河一樣，流向四方，形成廣濶而傾斜的丘陵。一路上把所有的東西都燒掉，當熔岩在未離火山口之前冷卻時，把出口封起來，內部的壓力逐漸增大，終於產生毀滅性的爆發，熔岩所到之處，造成了死亡和破壞，同時爆發聲可遠達數百哩之外。

火山爆發雖然會給人類造成嚴重的災害，但是，它對人類也有很大的好處，原來，當岩漿從地殼很深的地方擠上來的時候，並不是都能找到一條出路的；大部分的岩漿都找不到出路，它們仍舊只能呆在地殼下凝結起來。

當這些岩漿慢慢地凝結的時候，它會分離出許多有用的礦物來；這些礦物會按照它們各自不同的性質，凝成了金、銀、銅、鐵、錫以及其他許多寶貴的礦物。礦物就是這樣誕生出來的。

如果沒有火山活動，地球內部雖有豐富的礦物，就只能老藏在地殼的深處，使人類沒法得到它。只有當岩漿向地殼上升的時候，這些埋藏在地殼內部的礦物，才有機會跑到地殼的上層，而且凝結、集中起來，使我們能夠在離地面不太深的地方得到它們。

科學家研究了古代火山活動的地區，發現那些地方的地下，總是埋

著各種豐富的金屬礦產。因此，當我們在地下發現各種金屬礦物的時候，我們應該想到，這是火山的“功勞”！

此外，從火山口裏噴出來的熔岩，冷卻以後，也是一種優良的建築材料。由火山灰凝成的凝灰岩，質地很輕鬆；這種石頭可以用刀切，用鋸子鋸，還能用釘子釘，可以做屋子的牆壁，也可以雕刻成其他建築上的裝飾品。

火山可分成活火山、熄火山和死火山三種。全世界約有四千多座火山，目前約有三百座活動性程度不同的火山，分佈在太平洋沿岸。因爲太平洋沿岸一帶，是地球上地殼裂縫最多的地方，所以火山也特別多。此外世界上著名的火山有義大利的維蘇威火山，美國加利福尼亞州的拉孫火山，夏威夷的幾勞埃亞火山、冒納羅亞火山。美國太平洋沿岸的雷尼山和沙斯塔山，則是兩座死火山。中國的火山並不多，只有臺灣、東北、雲南等地還有一些活火山；而這些地方，也正是地殼不穩定的地帶。

【火花】(Spark)

正負電極相隔一小空隙，因電壓太高，電流急激通過所產生之熱效應。又稱爲電花。

【火花放電】(Spark discharge)

當兩個帶電導體互相靠近到一定距離時，就會在其間發生火花和噼啪聲（它們的電位差愈大，則這種現象愈顯著），結果兩個導體所帶的電荷幾乎全部消失。像這種異性電聚積至足量時，突破絕緣體（不經過直接接觸）而中和的現象，就叫放電。中和時發生火花的就叫火花放電。

太氣中晴天常有正電，陰天則正負不定；異種電的雲相接近時於空中即生大規模而劇烈的火花放電（即雷和閃電）。帶電的雲接近地面，由感應作用，在雲和地的中間發生火花放電即爲“落雷”（ *thunder*

strike）。 由於它們之間電勢差非常大，所以這種放電的爲害性特別大，它可以破壞建築物，打死人和牲畜。若於帶電體上附一尖端，則在未達高電位時，電從尖端徐徐放出，可免發生火花放電的危險。避雷針就是利用尖端作用，使放電趨於徐緩的裝置。

在日常生活中，我們往往看到運送汽油的汽車，在它的尾巴上，總是有一根鐵鏈叮叮噹噹的在地上拖著走。多數人不懂其中的道理，還以爲這是多餘的。其實這根“小辮子”非常重要。

運汽油車裏裝運的是汽油，汽車在開動的時候，裏面裝著的汽油也不停地晃動，晃動的結果，會使汽油跟油槽的壁發生衝撞和摩擦，這樣就會使油槽帶電。

因爲汽車的輪胎是橡膠，是絕緣體，油糟裏發生的電荷不可能通過輪胎傳到地下，這樣電荷就會積聚起來，甚至有時會發出電火花。汽油是最容易燃燒的物質，遇到火花，就很容易發生爆炸。爲了防止這種危險，唯一的辦法就得靠汽車後面拖在地上的鐵鏈來做電導工具。

空氣中有些灰塵也帶有微量的電荷，往往會把電荷傳到它所停留的物體上。汽車在行駛時，灰塵飛揚，會積累在汽油車上，積累多了，可能達到發生火花放電的程度，在傾倒汽油時就有爆炸的危險。油車後面拖了一根鐵鏈，就能隨時將電荷傳到地面上，免除火花放電的形成。

【火花放電器】（Spark discharger）

兩個球形或針形的電極，接上相當高的電壓彼此接近，如兩者間的電場分佈夠強時，當以火花形式放電。

【火花圈】（Spark coil）

一個感應圈，用來取得火花放電者。

【火花發射機】（Spark transmitter）

無線電發明初期之發射線，藉火花放電產生無線電波。又稱電花發送機。

【火花電壓】(Sparking voltage)

火花放電之最低電壓或冷陰極氣體管之啓動電壓。

【火花隙】(Spark gap)

能產生火花之兩電極裝置。

【火花頻率】(Spark frequency)

火花發射機每秒鐘產生火花的數目。

【火星】(Mars)

我國叫做熒惑。許多年來科學家曾相信火星是一顆像地球一樣的行星。有生物存在的可能。因爲它的顏色好像火球，所以叫這個名字。火星至太陽的平均距離爲 2.28×10^{8} 公里，火星的離心率很大，故其軌道爲扁平的橢圓，又因爲軌道離心率的關係，每十五年接近地球一次，最近距離可達 5×10^{7} 公里；火星的自轉週期爲 24 時 37 分 23 秒，繞太陽的公轉週期約爲 687日，和地球比較，那兒一晝夜的長只比我們長了半小時多。火星上一年的長約相當於地球的二年。火星有兩個衛星，體積都很小，第一衛星公轉週期爲七小時半，不到火星自轉週期的三分之一，在火星上看是西昇而東沒。第二衛星的公轉週期爲三十小時餘，東昇而西沒。火星亦像地球，近兩極處略爲扁平，平均直徑爲6,786公里。質量爲地球的 0.108 倍，密度爲地球的 0.72 倍或水的 3.96 倍，表面重力爲地球的 0.38 倍。火星的直徑比地球約小一半，它的球體容積大約只有地球的六分之一，火星上沒有山脈系、大山谷，也沒有磁場的情形，可能說明火星並未有一個在理論上像地球應有的熱液體金屬心。

火星表面有許多類似月球表面的隕石撞擊口，這是在預料中的，因爲火星大氣稀薄，一定有許多隕石可以穿過大氣，而降落在火星表面造成隕石撞擊口，在望遠鏡下觀測，可見到火星有許多交錯的細黑線，且頗有規則，這線條係 1877 斯基阿巴累利 (*Schiaparelli*) 所發現，

叫做運河（ *canals* ）；其後勞威爾（ *Lowell* ）和俾克林（*Pickering* ）發現這種線條甚多，於是有許多人相信火星上也有高等智慧的生物，直到現在仍然意見紛紛，不能一致，但根據科學家研究，火星上大氣壓力只有地球的百分之一，比人體肺內的水蒸氣壓力還低，溫度變化也太大，夏天午後雖有 70°F ，但一入夜，可能降到華氏零下一百五十度。濕度只有地球的一千五百分之一，在這種環境下，即使有生物存在，恐怕也和地球上的大不相同。最近根據“航海家太空船”傳回的照片中顯示出勞威爾看見的線條，只是巨大而底部暗黑的坑穴。那些運河是不少以線形排列起來的坑穴，有的則是形狀不規則的小塊的暗色表面。

火星的赤道面對繞太陽公轉軌道平面的傾角爲24度，故火星有和地球相似的四季，也有和地球相似的寒溫熱等地帶，不過它每季時間的長，比地球上每季的長約增一倍，這季節現象呈現了兩個特徵：

1. 火星南北極都有類似地球南北極雪區的白色區域，稱爲極冠，這些白色區域的大小隨季節而變（多天變大夏天變小或完全消失）。

2. 火星表面某些部分的顏色深淺隨季節而變。

這些白色區域的組成按照火星大氣以二氧化碳爲主，氮次之，只有很少的水份，並沒有氧。其原因是火星離日較遠所受熱量不足，因此放出氣體較少，放出的氧迅速的被表面的含鐵礦物所吸收（吸收後使土壤顏色變紅，而給火星帶來它的特徵性的紅色）。這樣一來，氧氣就不能停在空中造成臭氧以保護火星表面不受紫外光的照射，因爲紫外光繼續的照射可以使剩餘的水份再繼續分解。大氣中因此含水份不多。水份在大氣的功用是製造一層對紅內線吸收極強的氣層以保留火星的餘熱。因此，火星表面溫度變化很大。天文測量的結果，斷定在白天正午，在赤道區溫度可達 25°C ，頗適合人類生活；但在晚間可以降到－70°C 左右，在這溫度連二氧化碳都可凍結成乾冰。因此看來，極峯的組成大約是固態二氧化碳（乾冰）

從觀測中知道有時整個極峯在夏天都可以消失掉。火星離日距離約爲地球離日距離的1.5倍，所受的太陽輻射強度約爲地球的一半。由此吸收陽光能量的比率，可以推算出極峯最大的厚度。這厚度和構成有關，如果是水的話厚度不會超過1 *cm* ，如果是二氧化碳（乾冰）也不會超過10 *cm*。因此，火星上缺水的程度比沙漠中還嚴重（沙漠中的雨量約爲每年一吋或2.5 *cm*）。

季節的來臨也給火星表面帶來顏色的變化。這些顏色的變化和地球很類似。在地球北半球，當春天來到時，北半球的北部的雪逐漸向北極退去，綠色草木的生長逐漸替代枯去的草木。在火星表面，似乎隨著春天的到來，某些地區逐漸自淺棕色變成深棕色，自北向南開始變化。這種季節性的顏色的變化是生物存在的最有力的一種間接證據，但是也有人認爲季節性的顏色的變化，是由於季風的吹刮，冬天來到時把表面的顏色深的細沙吹走，春天再把細砂吹來。究竟是什麼造成顏色的變化，恐怕非要直接登陸火星不能知道。

【火球】（Fireball）

核爆後，百萬分之幾秒內由高熱氣體所形成的球狀火焰。

【火箭】（Rocket）

【Ⅰ】火箭的基本原理

簡單地說，就是由噴射出去的氣流，產生所謂大小相等，方向與噴出氣流方向相反（也就是火箭前進方向）的反作用力。在噴氣引擎中，像現在的噴氣機，噴出去的氣流是汽油與空氣混合後燃燒所生成，而火箭飛行於太空中不能獲得空氣，故火箭燃料中要備有足夠用的氧氣來維持燃燒。當燃料與氧

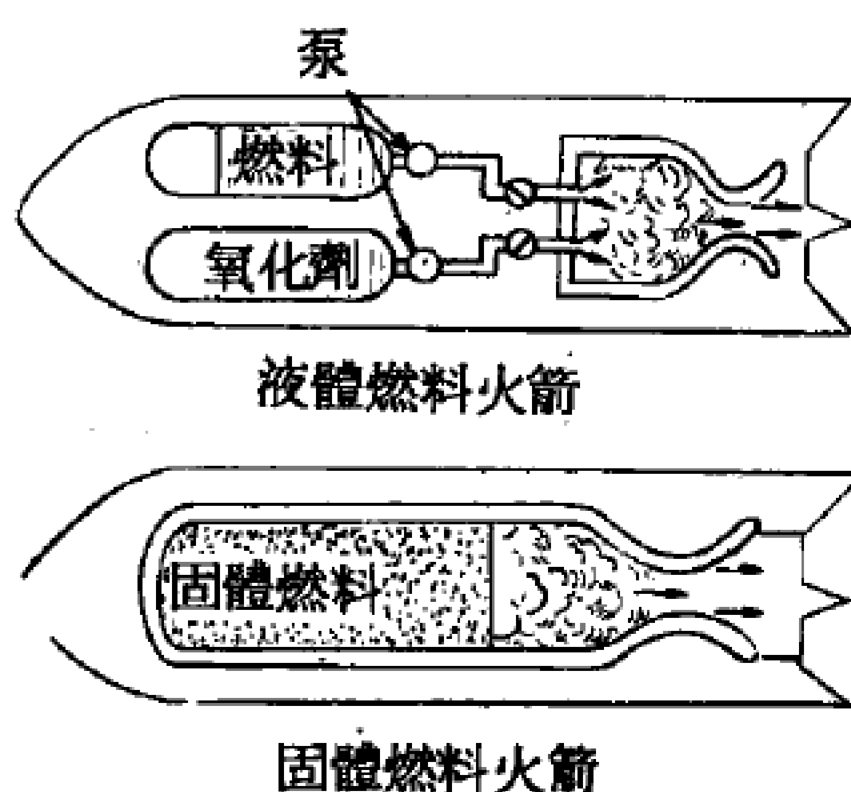


圖 4－293　火箭

氣混合燃燒後噴出高溫氣體，產生連續的力量，火箭則依此力量方向而加速（圖 4 — 293 ）。

【 II 】火箭的不同推進方式

1. 固體推進劑火箭——（圖 4 — 294 ）推進劑是由氧化劑與燃料相混合而製成，一旦點燃後可以繼續燃燒。許多這類火箭的推進劑是鑄進火箭之燃燒室內，而其中心留有一個孔道，如此孔道是成星形，則當燃燒時其消耗推進劑的速度是不變的，故能產生平穩的衝力。當點燃後由此孔道向外燃燒，直至全部燃盡。燃燒發生的高溫氣體，經燃燒室後部噴嘴噴出，而獲得高噴氣速度。這類火箭構造簡單多用於軍事火箭，但這種火箭一旦點燃後就沒有方法改變燃燒速度。

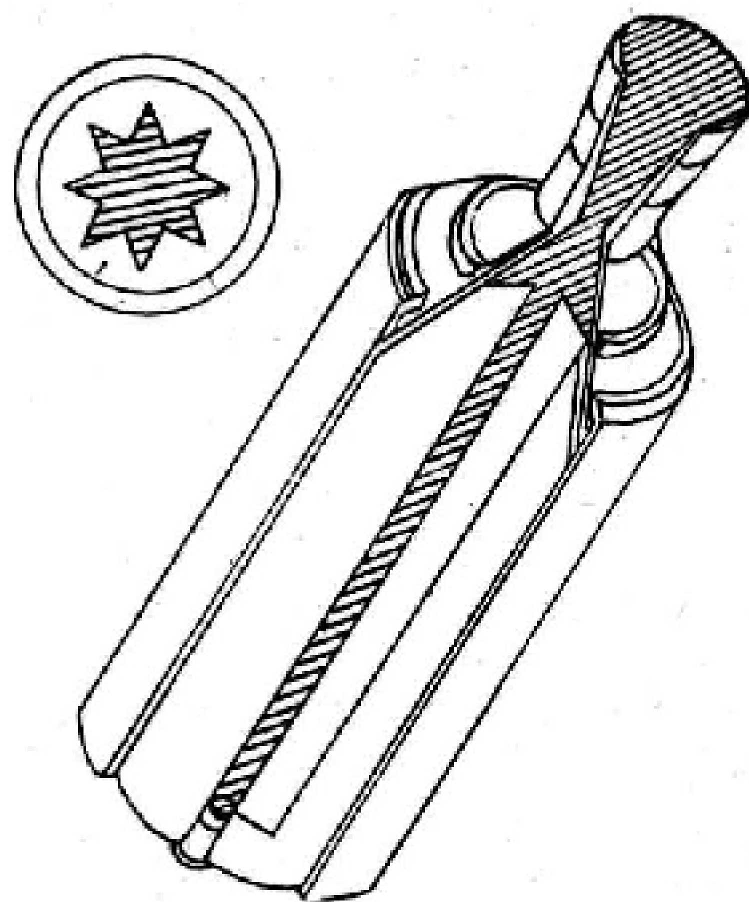


圖 4 — 294
固體燃料火箭剖示圖

2. 液體推進劑火箭——（圖 4 — 295 ）約可分爲兩種型式，在圖中可見到此兩種不同型式中各主要部分的安排情況。右邊那種是用泵輸送燃料及氧化劑，左邊這種用壓力去輸送，後一種的好處是簡單但只適用於小型火箭、低衝力和短時間燃燒。

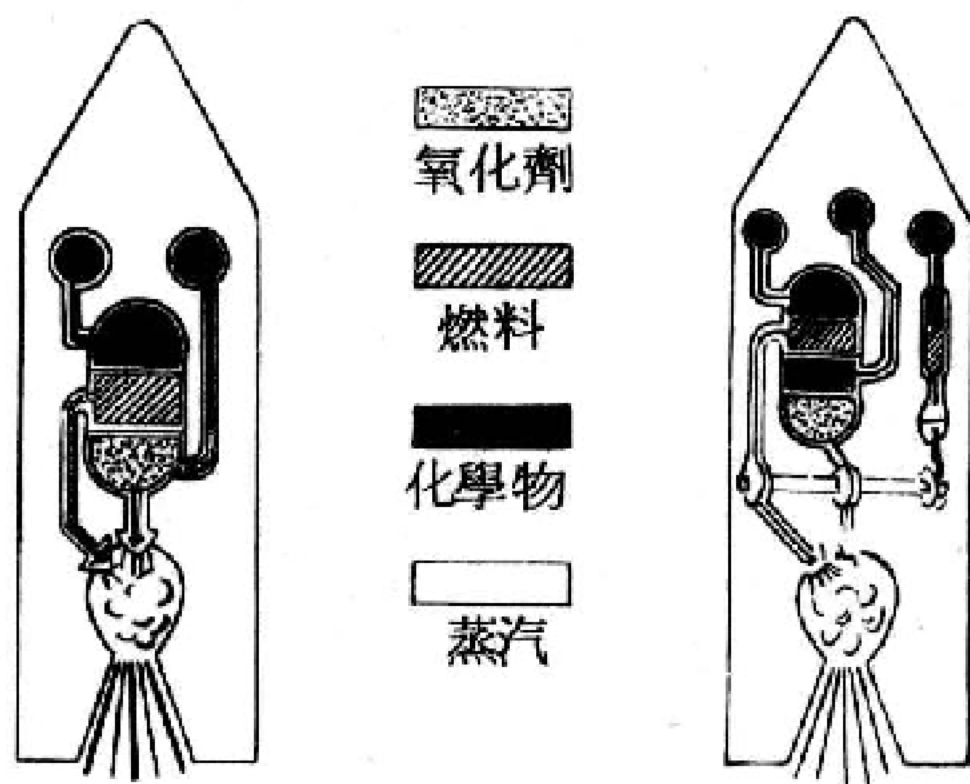


圖 4 — 295
兩種不同液體燃料火箭之工作原理

現在我們用一個眞實火箭作例來說明液體推進劑火箭工作情形，液體推進劑系統中普通都是燃料與氧化劑分儲於容器中，現用 *RL* 10 — *A* 3 火箭（圖 4 — 296 ）推進系統作例，這種引擎用於農神火箭第

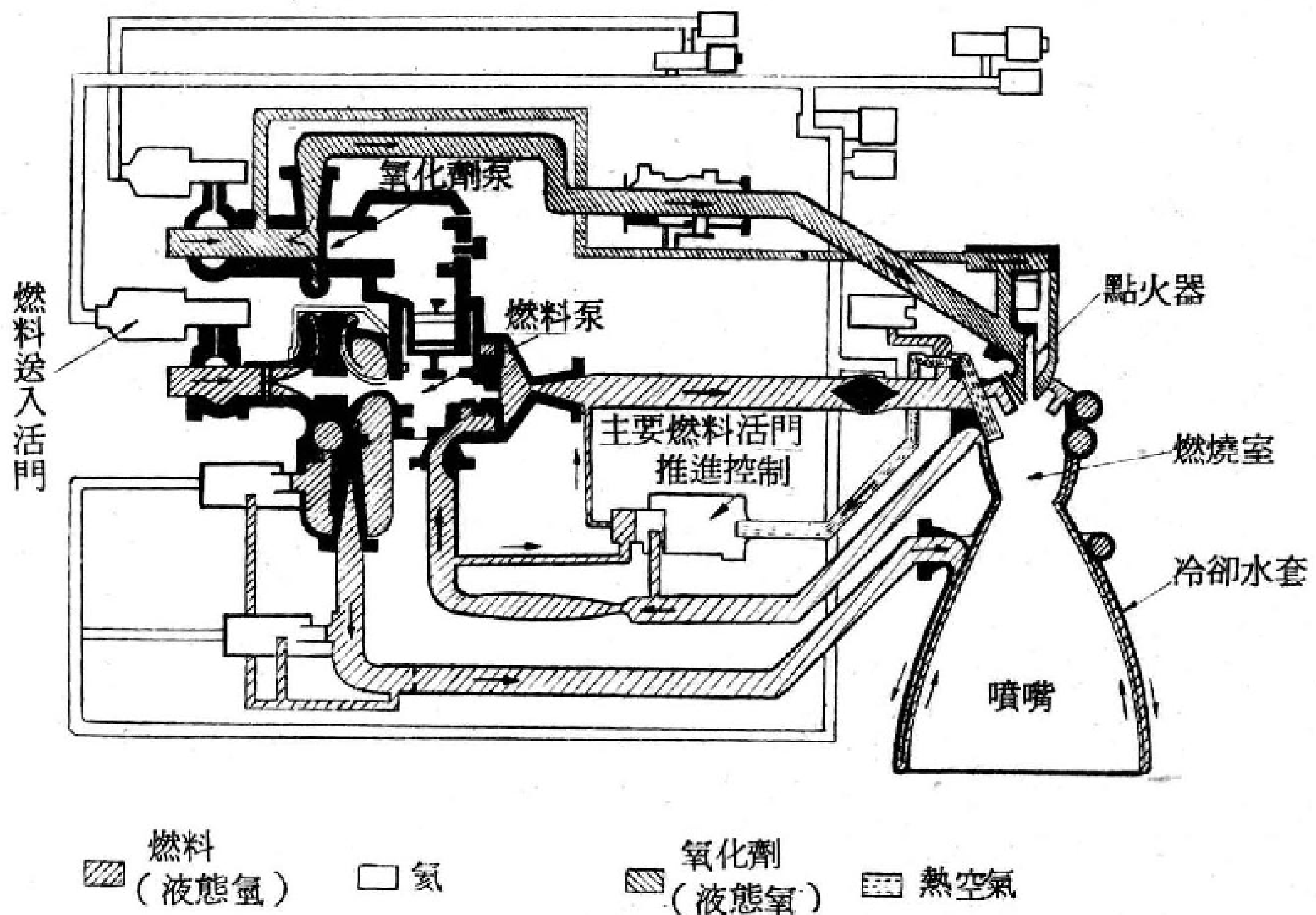


圖 4 — 296　RL10-A3（農神火箭第二節中的引擎）火箭引擎工作說明

二節中，液態氫（燃料）進入燃料送入活門（*fuel inlet valve*）經燃料泵（*fuel pump*）再經圍繞噴嘴（*nozzle*）四週的冷卻套（*cooling jacket*）以冷卻燃燒室（*combustion chamber*）及噴嘴，當液態氫經過冷卻套後即因吸熱而變成氣體，這時氣體氫的溫度仍然甚低，大約爲－100°*F*。此氫氣經引擎產生機械能以供各泵所需之能，然後進入燃燒室與氧化劑混合燃燒，有關泵的開動及燃料送入活門等機件則用加壓氦氣控制。

一般言之，液體推進劑火箭比固體者複雜，但是它的好處是燃燒推進劑的速度可以控制。現在有許多研究工作重點投在如何能增加火箭的能量，其方法有如何能增加攜帶之燃料，以及減少設備的重量，和發展一種新的高能燃料等等。有一些試驗正在進行中，以期能使用氟爲燃料，據估計如果用氟與氧或氟與氫爲推進劑時，可以使目前火箭之能力大

爲增加。

但是用化學物爲推進劑的火箭其能力終爲有限，經研究後知化學火箭之比衝量是以400秒爲理論上的極限，如欲使太空船能作長期及遠距離的太空任務則必須發展一種新推進系統，爲了探測太陽系其他行星，一些有關未來火箭推進系統的研究正在全力加速發展。火箭的不同推進方法的比較如下表所示：

火箭之不同推進方法的比較

動 力 的 來 源	脈衝比度（秒）
液態氧＋煤油（化學能）	300
液態氧＋液態氫（化學能）	390
液態氟＋液態氫（化學能）	410
液態氫＋反應器在 1,500 °K（核能）	720
液態氫＋反應器在 3,000 °K（核能）	1,020

【Ⅲ】火箭的任務

大體可分爲三類：

1. 運送彈頭於短程目標，這種火箭終點速度（ *burnout velocity* ）較低。並且彈頭不出低空大氣範圍以外。

2. 運送彈頭於遠程目標，這種火箭的終點速度較高，彈頭衝入太空，然後重入大氣範圍。

3. 運送太空衛星（ *satellite* ），這種火箭，往往是多級（*multistage* ），最後一級的終點速度更大，彈頭進入太空，變成衛星。

用來做第二種任務的火箭通常叫彈道火箭（ *ballistic missile* ），這類火箭，在引擎熄火以後，它的飛行軌跡（ *trajectory* ）和子彈砲彈一樣。

到達月球所用的火箭要比放射人造衛星時所用的火箭大，原因是要

把一個人造衞星放射到地球上空近300哩的高度中的太空去，需要有每小時 18,000 哩的速度。假使放射人造衞星工作圓滿，它的軌道將成正圓形。但是假使最後一節火箭速度大於每小時 18,000 哩，那麼以地球爲一焦點時，人造衞星的軌跡將呈橢圓形。假使第三節火箭進入軌跡時距地球 300 哩，這一高度將成軌跡的距地最低點，即“近地點”。

和這最低點正相反的一點是火箭距地球最遠的一點，叫做“遠地點”。

當我們把火箭的速度增加時，這一距地最遠點也就離開地球更遠。整套的橢圓形軌跡，有如圖 4 — 297。

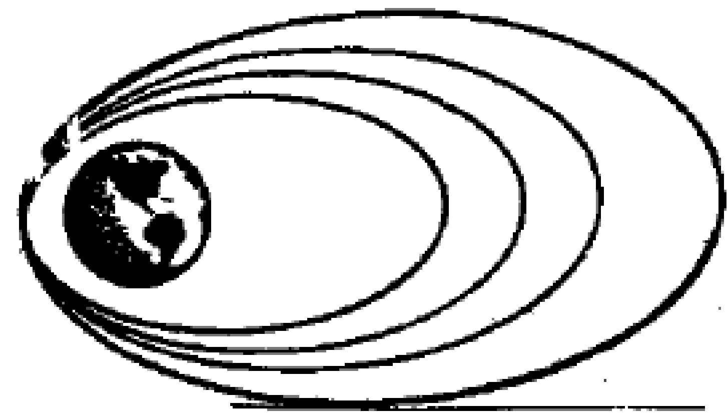


圖 4 — 297

當然，假使我們繼續增加火箭的速度，到最後那軌跡將不再成爲橢圓形。當速度到達每小時 25,000 哩時，火箭的速度已經到達可以脫離引力作用而消逝在太陽系中的程度。

月球和地球之間的距離，按我們估計，平均約爲 240,000 哩。

要把火箭送到月球附近去，所需要的速度要在它能脫離引力的速度之下。假使火箭開動的速度是每小時 23,900 哩的話，它距地球最遠的一點，也就是它軌跡上的遠地點將距地球 280,000 哩。假使我們把放射的時間計算得很正確，火箭將能廻繞月球，再回到地球上來。

火箭並不是以一定不變的速度運行，當火箭向月球飛去時，它是反抗著地球的引力而上升的。這種引力會使火箭速度減慢。它飛距地球越近，運行越爲緩慢。當它繞過月球時，速度會減到每小時僅數百哩的。

然後，當火箭回轉地球上去時，因爲地球引力把它拖回來，使它的速度增加。當它回到“近地點”時，又會恢復每小時 23,900 哩的速度。

【Ⅳ】美國太空署常用的火箭

1. 斥候（*Scout*）——是用固體燃料的火箭，它能送一個240磅的衛星進入300哩高的衛星軌道，它有四節，高72呎。

2. 得耳他（*Delta*）——它合用於各種距離而重量較輕的衛星任務，曾有多次成功紀錄，火箭底層直徑10呎，三節共高90呎，能送880磅物體進入圍繞地球的軌道，或150磅的儀器包進入月球，或120磅太空船往火星或金星。此類火箭可在第一節中附加三個補助火箭引擎而稱爲其改進型，它即可使17萬磅至33萬磅重昇空，也可送1,185磅衛星進入軌道，或210磅物體去月球或160磅物體去金星或火星。

3. 雷神—愛琴納（*Thor-Agena*）——是在美國空軍所發展成功後被美太空署所採用的，兩節，76呎高，衝力爲17萬磅，能送1,600磅進入300哩高地球軌道，附加三個補助火箭時衝力爲33萬2仟磅，它可送2,200磅衛星進入300哩高地球軌道。

4. 擎天神（*Atlas D*）——是$1\frac{1}{2}$節液體燃料火箭它有三個引擎，全衝力爲38萬8仟磅，其外側的兩個引擎（被視爲半節）當燃燒完畢後被脫落，中心引擎一直到將被射物體送進軌道後才停止燃燒，它高72呎，能送3,000磅衛星進入高100哩的地球軌道。

5. 擎天神—愛琴納（*Atlas-Agena*）（圖4—298）——也是在美空軍發展成功

圖 4 — 298
擎天神—愛琴納火箭發射游騎兵七號至月球之情況

後由美太空署採用的，高 91 呎，兩節，能送 5,950 磅進入 300 哩高軌道，或約 1,000 磅至月球，或 600 磅至火星或金星。

6. 擎天神一人馬座（ *Atlas-Centaur* ）——兩節高 100 呎，直徑 10 呎，以擎天神爲第一節，第二節是用兩個以液態氫和液態氧爲推進劑的火箭引擎(美國第一個火箭使用高能的液態氫液態氧推進劑)，此種用液態氫和液態氧的火箭比用煤油和液態氧的火箭增加百分之四十的衝力，此火箭第二節並裝有控制燃燒之停止及再點火的裝置，它能送8,500磅衞星進入 300 哩高軌道，或 2,320 磅往月球或 1,300 磅往火星或金星。

7. 泰坦（ *Titan* Ⅱ ）——發射“雙子星”號的火箭就是用此火箭加以改進的，它也用液體推進劑，這種推進劑可以無窮長時間儲藏於它的燃料箱中，也不像其他液體推進劑務必保持很低溫度，故當他裝滿推進劑而延遲發射計劃時，無需再將推進劑泵出。它高 90 呎，衝力 43 萬磅，能將 8,000 磅物體送入繞地球的軌道。

8. 農神一號（ *Saturn* Ⅰ ）—— 120 呎高，21.6 呎直徑，二節，衝力 150 萬磅，能送 22,500 磅物體進入繞地球軌道，美太空署曾有十次成功飛行它的試驗，其目的在於獲得經驗以便設計能力更大的更高等級的農神一號 *B* 火箭，此高級火箭曾用於阿波羅計劃中的空中會合，其結構第一節與舊的相同只衝力增至 160萬磅，第二節用液態氫和液態氧產生 20 萬磅衝力，全高 142 呎能送 18 噸物體進入軌道。

9. 農神五號（ *Saturn* Ⅴ ）——此爲阿波羅測探月球計劃而設計，爲美國最大的火箭，第一節直徑 33 呎，有五個引擎，燃料是煤油和液態氧，每引擎產生衝力 150萬磅（總共 750萬磅），第二節也有五個引擎，燃料是液態氫和液態氧，產生20萬磅衝力，第三節用一個第二節的引擎，可送 28萬磅物體進入 100哩的軌道，或 9 萬 5 仟磅登月球，如將阿波羅太空艙置於頂端，它全長 364 呎。

【 V 】火箭小史

我們通常想火箭是二十世紀的產品，事實上，遠在十一世紀的時候，我們中國就發明了最早的第一枝火箭。在西元 1232 年，即是宋朝時代，已能製造火箭，用於戰陣，在蒙古圍攻開封城之際；1280 年，一個名叫阿拉瑪的阿拉伯人，已能寫出如何製造火箭的手册，於是有關火箭的製造與用途之學識，就迅速地傳遍了各國。一個名叫馮特拉的義大利工程師，在 1405 年寫了一本有關火箭車（圖 4 — 299）的書，說明火箭車在戰爭中可當作破城槌。在義大利這個國家中，由十八世紀起，至目前爲止，火箭的主要應用，乃是作爲娛樂的泉源。例如義大利用火箭帶火花到天空去，則是早已聞名於世。

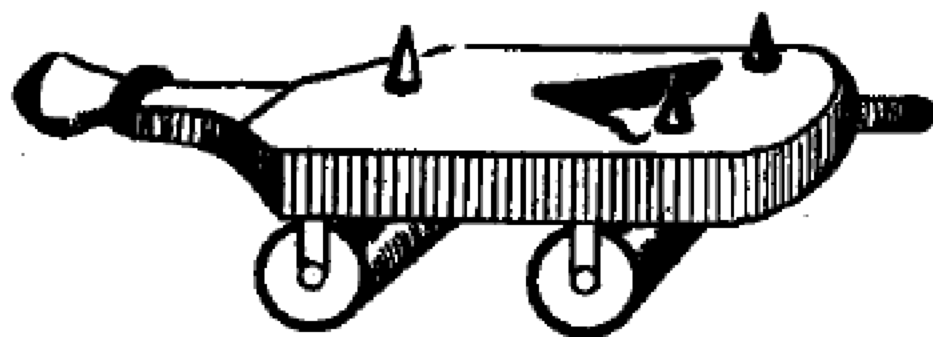


圖 4 — 299　火箭車

在十八世紀的末葉，駐防在印度的英國陸軍部隊，被印度的火箭部隊所打敗。在這次慘敗的教訓後，英國就企圖製造他們自己的火箭。由於一位輕青軍官苛古烈夫的努力，英國人製造火箭的企圖，終於成功了。在其後一連串的對外戰爭中，英國都是靠火箭的幫助，卒能獲得勝利。在 1847 年墨西哥戰爭中，還見到火箭的利用，不過，後來就被準確度高的大礮所替代了。

到十九世紀，由於美國的哥達（*Robert H. Goddard*）博士、德國的窩伯爾斯（*Hermann Oberth*）博士與蘇俄的基俄爾苛布斯克（*K. E. Tsiolkovsky*）教授三人分別專門研究，火箭又戲劇性的誕生了。

在 1903 年，基俄爾苛布斯克教授寫了一本書，這本書後來經過證實，爲第一次敍述火箭推力在外太空旅行上之用途。

1926 年三月，哥達博士在美國麻省諸薩州的農場上，發射了世界上第一枚液體推進劑火箭。自這次成功以後，哥達博士就被稱爲“近代火箭之父”。

1937 年，窩伯爾斯博士在德國也潛心地研究火箭，並在彭尼明得成立火箭研究所，這就是第二次世界大戰中聞名的$V-2$火箭的誕生地。

【火箭分級】(Rocket stage)

火箭分級的原理很簡單。大的推進火箭在底部，叫做第一級火箭。在它上面是一具小得多的第二級火箭。有時再加上第三級甚至第四級火箭。在這一切的上面，是要發射到軌道或進入太空的載荷。在發射時，把第一級推進火箭點燃，它把整套東西推著射向天空。當它的燃料用完後，它便脫離推進器，落回地球。第二級火箭點著火，把它的推力加在它上面的一套東西上。注意當第一級推進火箭脫離後，整個系統已減少了許多重量。現在，要進一步使其上的各級火箭及載荷加速前進，所需的動力便少得多了。

當第二級燃燒料完，它也離開。第三級點燃，把它的推力加在載荷上，然後脫離。如果有第四級，它以同樣程序進行。當各級脫離時，它們 落 向 地 球。 像 隕 石一樣，它們因和空氣摩擦熱至氣化溫度後，變成一團火焚燬了。但有時，最後一級獲得足夠的速度進入了軌道，而不落向地球。這樣，它便跟在載荷的後面。

科學家已經算出，一級式重 50 萬磅的火箭，能夠把 100磅的載荷送到月球。如果把燃料分為兩包，那就是說，把燃料分為兩級，那麼就可把 1,000 磅送到月球去。但如果有三級——總重量（三級火箭加載荷）同樣為 50 萬磅，那麼 3,000 磅可被放上月球。所以藉著分級，載荷可從 100 磅加到 3,000 磅。

當然，分級越多，系統越複雜。每一級必須自備燃料系統，控制儀器和點火機械。而且一旦某一級燒盡，即它的燃料全部用光後，就要設法使它脫離。這是科學家要把級數分得盡可能少的原因。

【火箭之運動】(Motion of rocket)

一支火箭就是一顆飛彈，但非由最初受到發射器中氣體爆炸之衝量而獲得速度，而是由於燃料的不斷消耗所產生之連續力而獲得速度（圖 4 — 300）。火箭起飛的時候裝有一定量的燃料，但因不斷耗用而使其質量漸漸減少。

圖 4 — 300

設火箭對慣性系之速度爲 $\vec{v}$，而假定此慣性系爲地球；設火箭噴出之氣體對地球之速度爲 $\vec{v}'$，則氣體相對於火箭之速度爲

$$\vec{v}_e = \vec{v}' - \vec{v}$$

其方向與 $\vec{v}$ 之方向相反。設火箭在任意時刻包括其燃料之質量爲 m，在很小的時距 dt 內此系統改變很少之質量 $-dm$，負號是表示質量減少，在同一時距內火箭之速度改變 $d\vec{v}$；在時刻 t 此系統之動量爲 $\vec{p} = m\vec{v}$，在時 $t + dt$ 之動量爲

$$\vec{p}' = \underbrace{(m + dm)(\vec{v} + d\vec{v})}_{\text{火箭}} + \underbrace{(-dm)\vec{v}'}_{\text{氣體}}$$

$$= m\vec{v} + m d\vec{v} - (\vec{v}' - \vec{v})\, dm$$

或

$$\vec{p}' = m\vec{v} + m d\vec{v} - \vec{v}_e dm$$

我們省略了 $dm\,d\vec{v}$。在 dt 時間內動量之改變量爲

$$d\vec{p} = \vec{p}' - \vec{p} = m\, d\vec{v} - \vec{v}_e dm$$

此系統動量之時變率爲

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = m\frac{d\vec{v}}{dt} - \vec{v}_e \frac{dm}{dt}$$

如果 $\vec{F}$ 爲作用於火箭之外力，則其運動方程式爲

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

此式可以寫成　$m\frac{d\vec{v}}{dt}-\vec{v}_e\frac{dm}{dt}=\vec{F}$

或　$m\frac{d\vec{v}}{dt}=\vec{F}+\vec{v}_e\frac{dm}{dt}$

$\vec{v}_e(dm/dt)$ 常用來表示火箭之推進力，因爲其值等於噴出之氣體所產生之力，並可從上式推出。解答此方程式時，我們必須對 $\vec{v}_e$ 有所假定，通常假定 $\vec{v}_e$ 爲常數。另外，如果略去空氣的阻力以及重力隨高度之變化不計，設 $\vec{F}=m\vec{g}$，則上式變爲

$$\frac{d\vec{v}}{dt}=\vec{g}+\frac{\vec{v}_e}{m}\frac{dm}{dt}$$

爲了使問題簡化，玆考慮鉛直運動之情形，於是 $\vec{v}$ 爲鉛直向上，而 $\vec{v}_e$ 及 $\vec{g}$ 爲鉛直向下，上式變爲

$$\frac{d\vec{v}}{dt}=-\vec{g}-\frac{\vec{v}_e}{m}\frac{dm}{dt}$$

將各項乘以 dt，並從運動開始時（$t=0$）積分至任意時刻 t，則因爲運動開始時速度爲 $\vec{v}_0$ 質量爲 m_0，故

$$\int_{v_0}^{v}d\vec{v}=-\vec{g}\int_0^t dt-\vec{v}_e\int_{m_0}^{m}\frac{dm}{m}$$

積分後得　$\vec{v}-\vec{v}_0=-\vec{g}t-\vec{v}_e ln\frac{m}{m_0}$

或　$\vec{v}=\vec{v}_0-\vec{g}t+\vec{v}_e ln\left(\frac{m_0}{m}\right)$

如果 t 爲用完所有燃料之時間，則在上式中，m 爲火箭之最後質量，$\vec{v}$ 爲其所獲得之最大速度。通常 $\vec{v}_0=0$，$\vec{g}t$（在很多情況中）可以略去不計；例如，看火箭之初質量爲3,000噸，燃料用完後之質量爲2,780 噸，噴出氣體質量之速率爲2,840磅/秒（或1,290 仟克 /秒

)，則 $t=155$ 秒；假設噴出氣體之速度為55,000米/秒，$v_0=0$，則火箭之最大速度為

$$v=55{,}000\ ln\frac{3{,}000}{2{,}780}\text{米/秒}(9.8\text{米/秒}^2)(155\text{秒})$$

$$=(55{,}000\ ln\ 1.08-1{,}520)\text{米/秒}$$

$$=2{,}710\text{米/秒}$$

此速率幾近9,000呎/秒或大約6,000哩/時 。這些數字，是根據農神（*Saturn*）火箭而來的，農神火箭有5具引擎，每具引擎在起飛時能產生150萬磅推力。

【火箭推力】（impulsive force of rocket）

火箭之推力由排出氣體所產生。試究截面積為 A 之燃燒室（圖4—301）盛有密度為 ρ 之氣體，壓力為 p。室底有一小孔截面積為 A_0，欲求氣體逃出小孔之速率 v_0。

圖4—301
流出燃燒室之流體

將白努利方程式寫為

$$p_1-p_2=\rho g(y_2-y_1)+\frac{1}{2}\rho(v_2^2-v_1^2)$$

因氣體密度甚小，故室中因高度而引起之壓力變化可忽略不計。因此，若 p 代表燃燒室中壓力 p_1，p_0 代表恰在孔外之大氣壓力 p_2，則

$$p-p_0=\frac{1}{2}\rho(v_0^2-v^2)$$

或
$$v_0^2=\frac{2(p-p_0)}{\rho}+v^2 \qquad (1)$$

v 是室內流動氣體的速率，v_0 是氣體穿過小孔的流出速率，雖然是能壓縮之氣體或為擾流，但在壓力和流出速率不甚大時，可以穩定和不能

壓縮流動處理之。

設質量連續流動（火箭引擎可以作成，即逃出氣體的質量等於燃料燃燒後所成氣體的質量），故（設密度一定）

$$Av = A_0 v_0$$

若孔極小，故$A_0 \ll A$，則$v_0 \gg v$，在（1）式中v^2可略去。因此，流出速度爲

$$v_0 = \sqrt{\frac{2(p - p_0)}{\rho}} \qquad (2)$$

若燃燒室是火箭的排氣室，則火箭之推力是$v_0 dM/dt$，但在dt時間內流出氣體之質量爲$dM = \rho A_0 v_0 dt$，故

$$v_0 \frac{dM}{dt} = v_0 \rho A_0 = \rho A_0 v_0^2$$

又由（2）式得推力爲

$$2A_0(p - p_0)$$

【牛氏蒸汽機】（Newcomen's steam engine）

人們利用機器幫助作工，已經有好幾千年的歷史。同樣，人們利用熱能也有幾千年的經驗，但是，人們在早期卻不會利用熱能來開動機器，直到 250 年前，一位英國的鐵匠牛康曼（*Thomas Newcomen*）發明了蒸汽機時，才開始改觀。

牛氏蒸汽機（圖 4—302）對燃料與熱量而言，浪費殊多。因爲每逢蒸氣注入汽缸前，汽缸必先經過冷卻手續。縱屬如此，牛氏蒸汽機在煤坑的汲水工作中，仍有極爲成功的工作表現。

某日在偶然的情況下，英國工程師兼科學家瓦特（*James Watt*）獲得了整修一部牛氏引擎的機會。在工作中，瓦特想到機器的浪費情形而設法改進。結果發明了蒸汽機，這部機器只需要牛氏引擎煤量的四分之一，就能夠作出同樣的功。

自從瓦特的蒸汽機發明以後，蒸汽機又經歷了一連串的改進過程。但是，基本上乃然以牛氏和瓦特所引進的蒸汽機理論爲基礎。那就是，燃料的能量轉變成熱能，而使蒸氣獲得壓力以推動活塞。由於活塞與唧筒，轉輪等連接在一起，因此，可進而帶動附屬的其他機器。

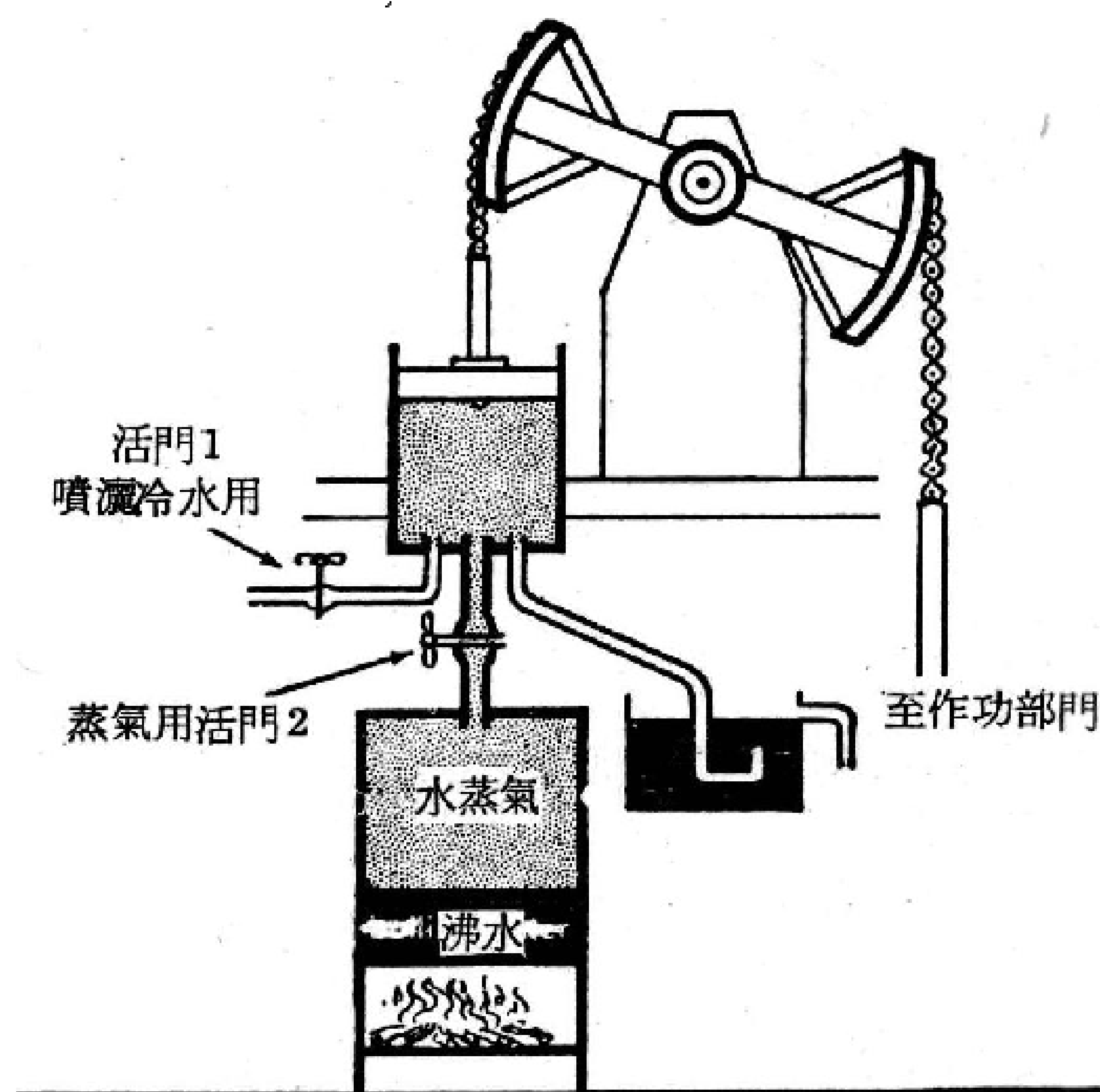


圖 4 — 302　牛氏蒸汽機

【牛頓】(Sir Isaac Newton 1642 — 1727)

歷史上最偉大的科學家，也是數學史上三大偉人之一（另兩人爲阿基米得和高斯）。1642 年十二月二十五日生於英國倫敦附近的小村莊，正是伽立略逝世同一年。牛頓是遺腹子，幼年對製造機械玩具比讀書更感興趣，曾造風車、水鐘和日晷。十四歲時一度離開學校幫助寡母（再婚後又寡居）管理農莊。1661 年入劍橋大學三一學院，1665 年元月得碩士學位。同年倫敦流行鼠疫，劍橋大學停課，至 1667 年才復課。在這兩年中牛頓大部分時間留在老家沉思，成爲發揮天才的時機。在此段期間他發明了微積分和二項式定理，並用稜鏡分析日光，證明日光是各種顏色的光所組成，並想到萬有引力原理。1669 年任劍橋大學數學教授，1672 年第一篇論文由皇家學會刊出，是關於光和顏色的理論。1684 年說明了如果太陽以平方反比定律吸引行星，則行星的軌道是

一橢圓。同年年底牛頓又將力學原理寫成一本小書“物體的運動”寄給哈雷(*Edmond Halley* 天文學家發現哈雷彗星)。哈雷馬上看出牛頓研究結果的重要性，力勸牛頓將研究的詳細結果寫成一本書。1685 年四月牛頓以拉丁文(當時學術界通用的文字)寫成自然哲學的數學原理(*Principia Mathematica*) 的第一部分，並將原稿送到皇家學會，不久再寫就其他兩部分，是歷史上最偉大的科學著作，哈雷不但親自校對，而且支付印刷費用，雖然名義上由皇家學會批准贊助出版。全書於 1687 年夏出版，此書立即爲全歐學術界所重視，並爲牛頓帶來很大的榮譽。1689 年被劍橋大學推爲國會議員(劍橋大學直到 1948 年都有此特權)。1692 至 1693 年患輕度神精崩潰，不再從事研究工作，而致力於工藝，1696 年赴倫敦任造幣廠監督，三年後升任廠長，1703 年當選皇家學會會長，並終身任此職。1704 年著“光學”一書，1705 年經安妮皇后封爲爵士，終身未婚。1727 年三月二十日逝於肯辛頓(*Kensington*)(當年是倫敦附近一小村落但今天已成倫敦市區)，三月二十八日下葬於西敏寺(*Westminster*)。牛頓生性羞怯謙遜，在病篤時有句名言是：“若我比別人更有遠見，只因我站在巨人的肩上”。

由於牛頓在科學方面的成就與貢獻，今人多以牛頓爲力的一單位。其在*M.K.S.*單位制中，定義爲“使質量爲 1 仟克之物體產生 1 米/秒^2 之加速度所需之力，稱爲 1 牛頓”。由此可知，力的單位必須用質量之單位與加速度之單位來表示。

【牛頓力】(Newtonian force)

互相作用的兩力，大小相等，方向相反，便是牛頓力。

【牛頓力學】(Newtonian mechanics)

以牛頓運動定律爲基礎所建立的力學理論。牛頓力學是相對論力學在涉及之速度遠小於光速時的極限敍述，也是量子力學在量子數爲無限

大時的極限狀況。它是尋常巨觀狀況的近似理論。

【牛頓力學中之相對性原理】(Relativity principle of Newton's mechanics)

一物體 A 對另一物體 B 的位置隨著時間而改變時，可以說物體 A 對物體 B 作運動，而物體 B 可稱爲參考系(*system of reference*)。爲討論方便計，通常以取在某物上的三個正交之坐標軸作爲參考系，用以確定運動物體的位置。

當一物體的運動方程式，就某正交的坐標系，如下式時

$$m\frac{d^2x}{dt^2}=F_x\quad m\frac{d^2y}{dt^2}=F_y\quad m\frac{d^2z}{dt^2}=F_z \qquad (1)$$

則稱某正交的坐標系爲慣性系。此處之 m 爲物體的質量；x, y 及 z 爲物體的位置坐標，F_x，F_y 及 F_z 分別爲作用力的 x，y 及 z 向的分量。

茲取一慣性系 S (o, x, y, z) 系，再取一對於慣性系作等速度運動的坐標系 S' (o', x', y', z') 系，如圖 4—303所示，物體 P 之坐標 (x, y, z) 與 (x', y', z') 間之關係爲

$$\left.\begin{aligned} x &= x_0 + x' \\ y &= y_0 + y' \\ z &= z_0 + z' \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

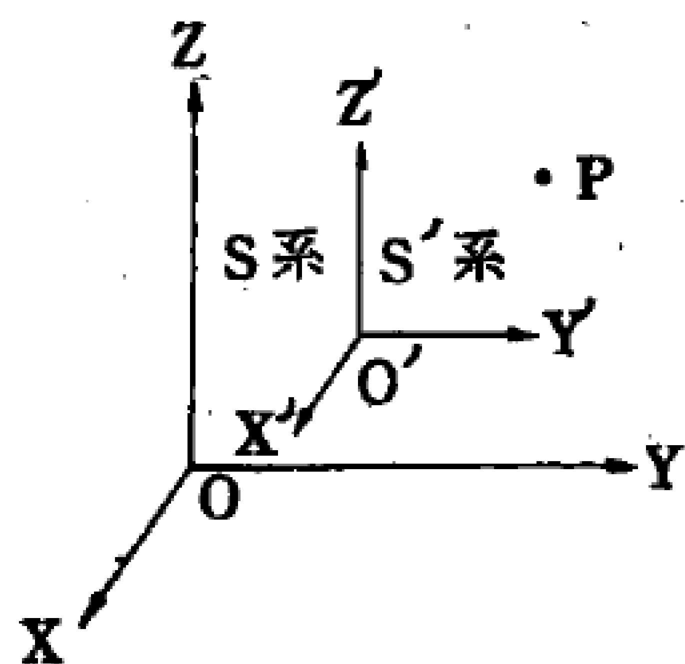


圖 4—303

其中 x_0, y_0 及 z_0 爲原點 O' 對 S 系之坐標。假定在時間爲零時，兩系的原點 O' 與 O 相合，因原點 O' 的 x，y 及 z 向的分速度分別爲 $\dot{x}_0$, $\dot{y}_0$ 及 $\dot{z}_0$ 故 (2) 式中之 x_0, y_0 及 z_0 爲

$$x_0 = \dot{x}_0 t \qquad y_0 = \dot{y}_0 t \qquad z = \dot{z}_0 t$$

由此等式及 (2) 式，S 系中一點 P (x, y, z) 由在 S' 系中之觀察者來觀察時，其坐標將爲

$$x' = x - \dot{x}_0 t \quad y' = y - \dot{y}_0 t \quad z' = z - \dot{z}_0 t \quad t' = t \qquad (3)$$

t 爲 S 系觀察者所用的觀察時間，t' 爲 S' 系觀察者所用的觀察時間。在牛頓力學中認爲時間是從過去向未來均一地流過，並不因坐標系而有所改變（亦可以說，各系所使用的時間，均毫無差別），即時間在牛頓力學中是絕對的，故在牛頓力學中 t' 等於 t 。

由 S' 系觀之，由（3）式將見物體 P 的三個分速度爲

$$\left.\begin{aligned} &\frac{dx'}{dt'}=\frac{dx}{dt}-\dot{x}_o \qquad \frac{dy'}{dt}=\frac{dy}{dt}-\dot{y}_o \\ &\frac{dz'}{dt'}=\frac{dz}{dt}-\dot{z}_o \qquad dt'=dt \end{aligned}\right\}$$

是爲牛頓力學中速度之相對性，其三個分加速度爲

$$\frac{d^2x}{dt'^2}=\frac{d^2x}{dt^2} \qquad \frac{d^2y'}{dt'^2}=\frac{d^2y}{dt^2} \qquad \frac{d^2z'}{dt'^2}=\frac{d^2z}{dt^2} \qquad (4)$$

將（4）式代入（1）式中，得

$$m\frac{d^2x'}{dt'^2}=F_x \qquad m=\frac{d^2y'}{dt'^2}=F_y \qquad m\frac{d^2z'}{dt'^2}=F_z$$

$\frac{d^2x'}{dt'^2}$，$\frac{d^2y'}{dt'^2}$ 及 $\frac{d^2z'}{dt'^2}$ 分別表示物體 P 對 S' 系的分加速度。此指以對於慣性系 S 作等速度運動之坐標系討論時，其運動方程式之正交分力仍爲 F_x，F_y 及 F_z，並不因坐標系之變換而變更。換言之，運動定律經變換（3）式施行坐標變換時而無改變。此爲牛頓力學中之相對性原理。從此又知互作等速運動之坐標系均爲慣性系。

（3）式通稱爲伽立略變換式（*Galilean transformation*）。當坐標軸 y' 及 z' 與 y 及 z 互爲平行，其 x' 軸沿著 x 軸以等速度 v 運動時，如圖 4—304所示伽立略變換式將變爲

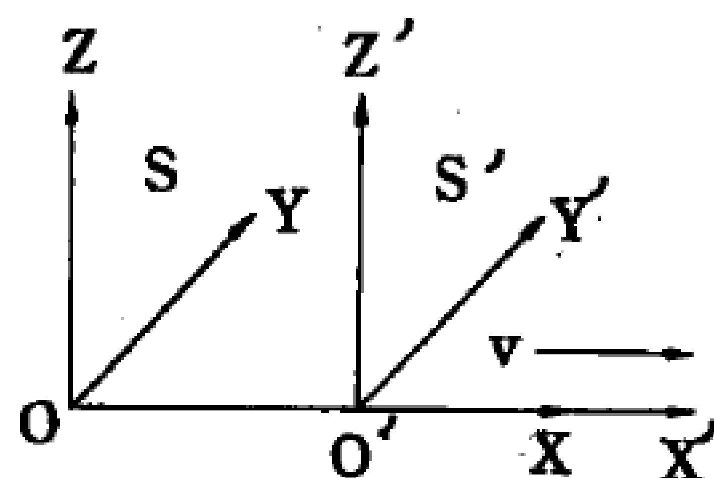


圖 4 — 304

$$\left.\begin{array}{ll} x'=x-vt & y'=y \\ z'=z & t'=t \end{array}\right\} \qquad (5)$$

但在時間爲零時，假定兩系之原點相合。

在如圖 4 — 304 所示的 S' 系上任取二點 P_1 及 P_2，其坐標分別以（ x_1', y_1', z_1' ）及（ x_2', y_2', z_2' ）示之。則此二點間距離之平方爲

$$(\Delta S')^2=(x_2'-x_1')^2+(y_2'-y_1')^2+(z_2'-z_1')^2$$

對 S 系言，此二點間距離之平方（ ΔS ）^{2}，則爲

$$(\Delta S)^2=(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2+(z_2-z_1)^2$$

若引用（ 5 ）式，即得

$$(x_2'-x_1')^2+(y_2'-y_1')^2+(z_2'-z_1')^2=(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2+(z_2-z_1)^2$$

即三度空間中任二點之距離，並不因觀察者所在的坐標系而改變，於是在牛頓力學中有所謂絕對性的空間。

【牛頓力學之適用範圍】（ Applied range of Newton's mechanics ）

在伽立略變換二坐標以等速 $\vec{u}$ 相對運動時，放在這兩個坐標上的同步時鐘走得一樣快慢，並且米尺的長度亦與速度無關，如果兩坐標的原點相重合時，兩同步時鐘的讀數相同，則此後任何時刻其讀數亦必相同。這結論與我們日常生活的經驗相吻合。不過，我們所直接觀測的物體都是體積或質量很大（ 比一原子大很多 ），而其速度也都比光速小很多（ 即使是行星繞太陽運動的速率也是比光速小很多 ）。因此，我們要問，這些時空間的基本假設是否可用在質點的速度接近光速的情形呢？我們不能根據低速度的經驗就武斷地說“ 可以 ”。要回答這一問題我們所能憑藉的只有實驗。因爲牛頓力學是建立在這種時空間的觀念上，因此，如果我們能回答上一問題，也就能回答“ 牛頓力學是否適用在質點的速度接近光速的場合？ ”

由一些實驗的結果我們發現上面所講的時空間觀念是有問題的。我們將看到正確的時空間變換不是伽立略變換而是羅倫茲（*Lorentz*）變換。因此，建立在伽立略變換上的牛頓力學並不是完全正確的，它應當是某一更完整的，適用範圍更廣的理論在低速度時的近似結果。我們將看到當質點的速度比光速小很多時，愛因斯坦的特殊相對論的結論確實與牛頓力學的結論相同。

牛頓的運動定律是從觀察大物體（如蘋果、月球、行星等）的運動得到的。他的第二定律$\vec{F}=m\vec{a}$最主要的特性是，如果我們知道任何時刻作用於物體的合力（即知道$\vec{F}$與時間或位置的函數關係）以及物體開始運動的位置及速度，則在以後任何時刻的位置及速度可從$\vec{F}=m\vec{a}$解出來，即我們可用數學的演算求出$\vec{r}=\vec{r}(t)$及$\vec{v}=\vec{v}(t)$的關係。這些函數關係告訴我們的是，在某一時刻物體一定在某一地點，並且一定具有某一速度。這也就是說，根據牛頓運動定律，我們只要曉得改變物體運動狀態的原因（即力）及初起狀態，則任何時刻一質點的位置及速度（或其線動量）在原則上是可以被同時無限準確地量度（或預測），亦即在觀念上我們是可以同時任意準確地量度一質點的位置及其動量。這一種量度的觀念與我們日常對大物體的經驗是相一致的。例如，我們可以很精確地量度一行星的位置，並由一連串的量度，我們便可預測行星在某一時刻的位置與速度。月蝕及日蝕的預測便是根據這種量度的觀念及牛頓運動定律的因果關係。因爲這些量度的觀念是從觀察大物體的運動得來的。因此牛頓力學是否適用於微觀世界（*microscopic world*）就要看應用於微觀世界時所預測得的結論與實驗觀測到的結果是否相符合。

【牛頓色板】（Newton's disk）

依太陽光譜所呈紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫七色，依次塗於圓板上，使圓板迅速廻轉，則可得白色之光。此種色板，係牛頓所發明，因

之叫做牛頓色板（圖4—305），用以說明太陽的白光，係七色所合成，及各種單光又可互相混合而成他種色光或白光。

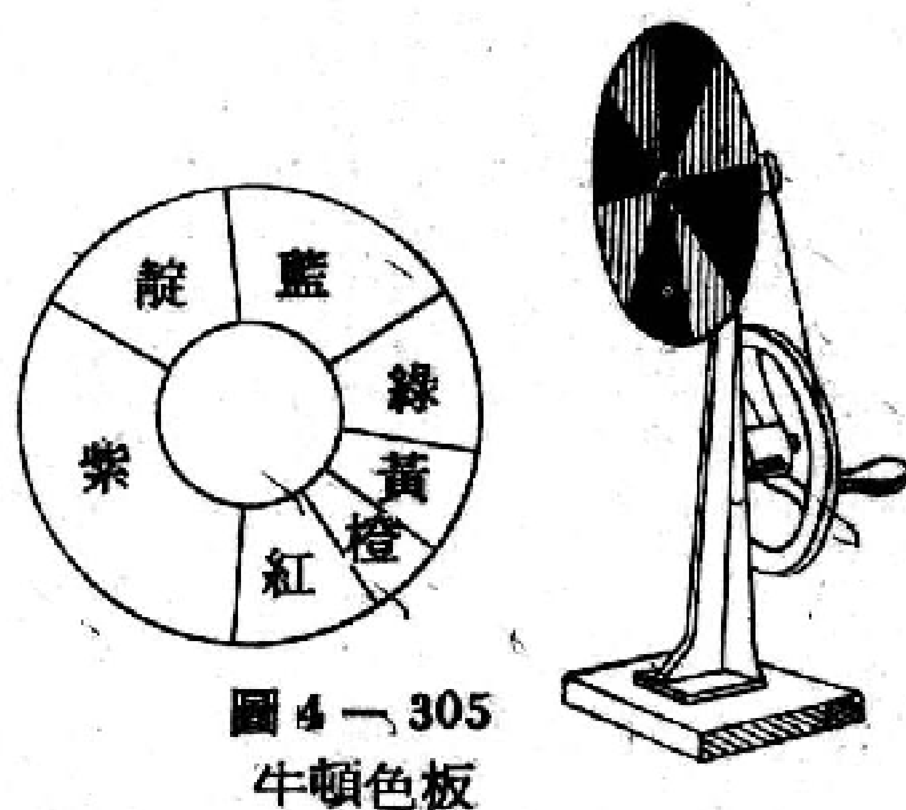


圖4—305
牛頓色板

【牛頓式望遠鏡】（Newtonian telescope）

牛頓發明之反光望遠鏡。此種望遠鏡觀察物像之目鏡係安置於鏡筒側邊。入射光由主反射鏡反射至置於望遠鏡軸上在焦點與軸傾斜四十五度之小平面鏡再轉向目鏡。

參閱"天文望遠鏡（*Astronomical telescope*）"條。

【牛頓光環】（Newton's ring）

爲由光波干涉時所生之現象。將黑布敷於板上，上置一平面玻璃板，更以一曲度極小之平凸透鏡置於玻璃板上，令其凸面與玻璃板面相切，注視之，則見其中心現彩色之輪環，是因在上之玻璃板爲凸面，與在下之玻璃板相切時，其中點雖密接，而周圍離隔，有空氣之薄層存在。且自接觸點起，愈向外間隔愈遠處，氣層愈厚，而在以接觸點爲中心之同一圓周上，空氣之厚薄相同，所現之色亦同。以白光照於上記之重疊玻璃上，窺其反射光，則見其中央黑暗，周圍成七色光環。愈至外部，其色愈淡，終至不能見。若以單色光照之，則見其中央仍黑暗，而周圍生明暗之環。

參閱"牛頓圈（*Newton's ring*）"條。

【牛頓冷卻定律】（Law of Newton's cooling）

當通過物體任一截面積之能量流密度爲常數時，即

$$j_E = \text{常數}$$

則無能量積聚於物質之任一體積內，此即穩定條件。設一棒，周圍包以絕緣物質，使無能量由側邊表面散逸（圖4—306）。穩定狀態時，每

單位時間內，經由高溫度的一端饋送之能量，與低溫的一端移去之能量必相等，因此則無能量積聚於棒內。當 $j_E =$ 常數時，積分 $j_E = -K\dfrac{dT}{dx}$（傅立葉定律）

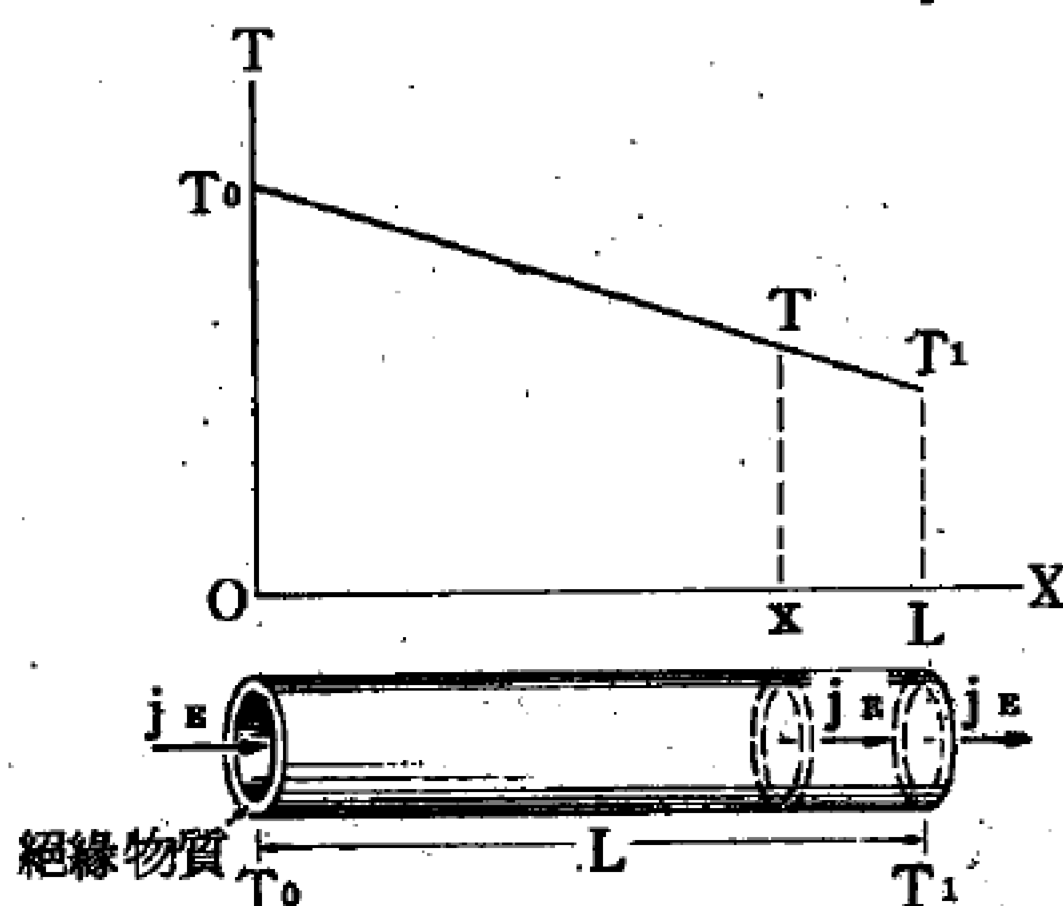


圖 4 — 306
兩端保持定溫的絕緣棒，當穩定時，溫度沿棒之分佈情形

即得 $\int_{T_0}^{T} dT = -\dfrac{j_E}{K}\int_0^x dx$

或 $T = -\dfrac{j_E}{K}x + T_0$　　　（1）

式中 T_0 為 $x = 0$ 處之溫度。圖 4 — 306上方之圖形乃依式示出 T 對 x 之關係。方程（1）式也可書成另一程式

$$j_E = K\frac{T_0 - T}{x} \qquad (2)$$

所注意者，若 $x = L$ 處之 $T = T_1$，則由（2）式可得

$$j_E = K\frac{T_0 - T_1}{x} \qquad (3)$$

上式表示，沿絕緣棒之能量流密度與棒兩端溫度之關係。

若棒之側邊表面並未絕緣，則出現不同的情況，能量經由表面以熱或輻射程式散逸於周圍物質中，在此種情形下，能量的散逸率，正比於表面積之大小，以及棒之表面與棒周圍溫度的差額（此差額不太大時）。此即為牛頓冷卻定律。因無理想之絕緣體，故棒雖經絕緣，仍然有少許能量經由表面散逸。單位時間散逸的能量，正

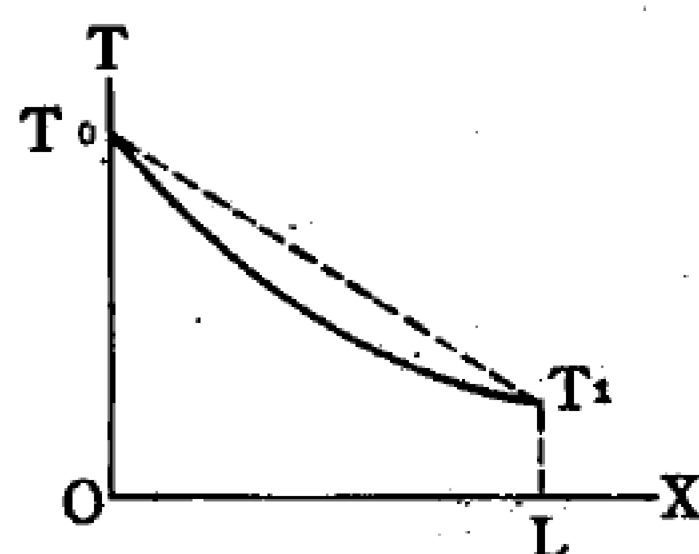


圖 4 — 307

比於絕緣體內外層之溫度差。由於此表面能量散逸的結果。雖在穩定狀態下，溫度仍沿棒以指數曲線下降，（如圖 4 — 307 ）代替理想絕緣棒之線性下降。

【牛頓流動】(Newtonian flow)

流動速度沿著與流動垂直的方向變化時，因黏性關係產生切應力，以抵抗速度差。若沿流動方向取 x 軸，在其垂直方向取 y 軸，並設作用於 y 軸垂直面的應力的 x 分量爲 X_y ，速度爲 u ，黏性係數爲 η ，則對通常流體有下面關係：

$$X_y = \eta \frac{\partial u}{\partial y}$$

此關係稱爲牛頓黏性定律，遵守此定律的流動，稱爲牛頓流動。

【牛頓流體】(Newtonian fluid)

一流體受剪應力時，不論其值如何微小，將繼續不斷變形。這並非所有流體之應力與應變率均有完全一致之關係。如剪應力與應變率成正比，應力爲零，變形亦爲零時，即爲適合於牛頓之黏滯定律的流體，稱爲牛頓流體。此時比例常數稱爲絕對或動力黏性，並由 μ 代表之。因此牛頓流體具有與運動情況無關之動力黏性。在應變率小的時候，很多流體的表現都近乎牛頓流體，常見流體如空氣及水即爲牛頓型者。牛頓流體中應力與形變率間之常比關係及固體中應力與形變值間由虎克定律所得之彈性模數關係類似。

流體中應力與形變率比例爲變數時稱爲非牛頓型。此等情況時

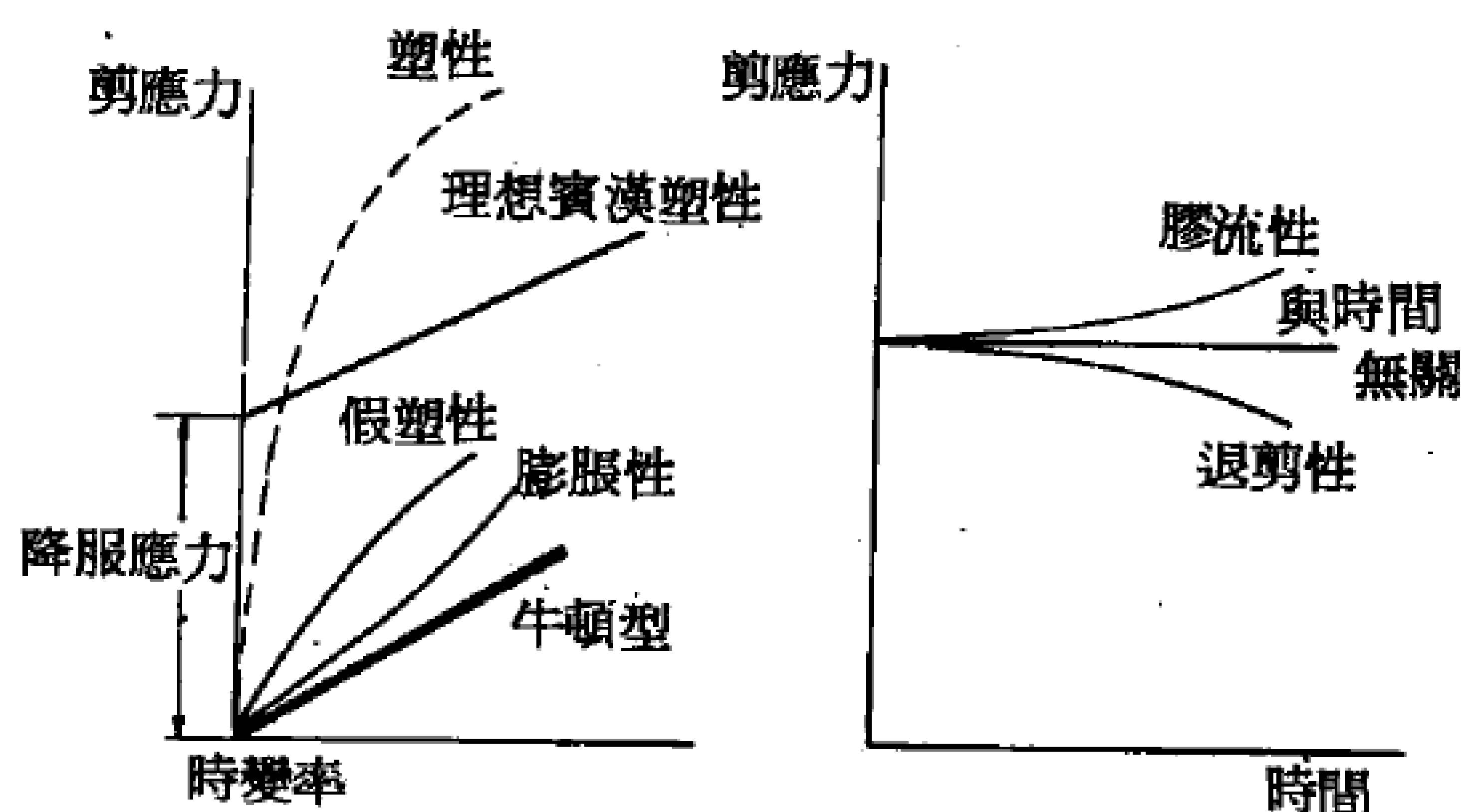


圖 4 — 308　各式流變行爲

，比數可與接受應力時間之長短及應力值有關，多種雖非常用，但極爲重要之流體屬於非牛頓型。某些物體，主要爲塑膠類者，顯示一屈服點。應力在屈服點下時爲固體性質，在屈服點以上時具流體性質。流變學（*rheology*）爲討論塑膠及非牛頓型流體之學術。近年來非牛頓流體在工程應用上逐漸增加其重要性，文獻討論亦日漸增多。圖4—308之曲線爲各型流體與塑膠體型變率對應力之關係及時間對應力之關係。

【牛頓原子學說】（Newton's atomic theory）

大科學家牛頓（*Issac Newton*）認爲原子是一個單純的微粒，一切物質固體、液體，甚至光線等都是由一原始的微粒構成的。此微粒是堅實而不可穿透的，具有極大的速度作運動，他想像光從一光源向四方傳播，是由於這些快速的微粒向四方流動所形成的。

【牛頓圈】（Newton's ring）

又稱牛頓環，當某一光疏介質層兩側均爲光密介質時（$n_2 < n_1$）所發生光之干涉現象與薄膜之光干涉現象（$n_2 > n_1$）做比較（圖4—309）。

就反射光線而論，由於其係投射於光密介質上，遭受了半個波長之損失，故已不是在A處被反射的光線S_1，而是在B處被反射的S_2（圖4—309）。然而在此二光線之中，不論何者於反射過程中遭受半個波長之損失，對於該二光線間之干涉現象均無影響。

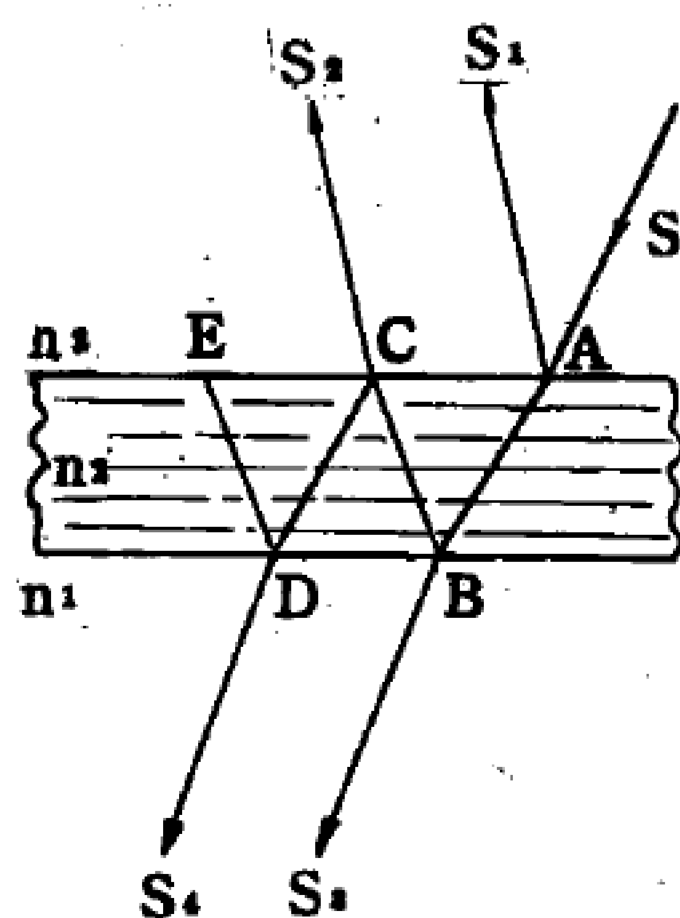


圖4—309

再就透過光線而論，雖然光線S_4在光密介質上（即在B點與C點上，圖4—309），經過了二度反射，但是由於光線S_4在該處所遭受的損失乃是半個波長的二倍（即一整個波長），故其結果也不會影響光線S_3與S_4間的干涉現象。

牛頓圈之實驗裝置之切面，如圖4—310所示。平板玻璃P上置有一曲率較小之平凸透鏡，如一眼鏡玻片B，於是兩者間的空氣間隙，成爲可使光線發生干涉作用的薄膜；它的厚度乃隨該二玻片之接觸點越向外越大，而空氣隙則爲一種光疏介質。如簡圖4—311所示，我們於使用單色光時，在反射光線中所觀察得到的乃是一個黑暗的中心點，其周圍則爲許許多多明暗相間之圓圈；這些圓圈係隨半徑的增大而愈來愈形狹窄。

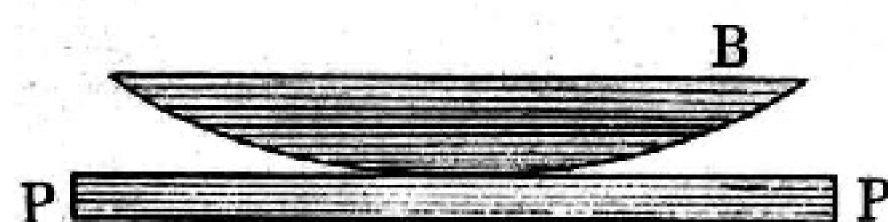


圖4—310　牛頓圈之實驗裝置

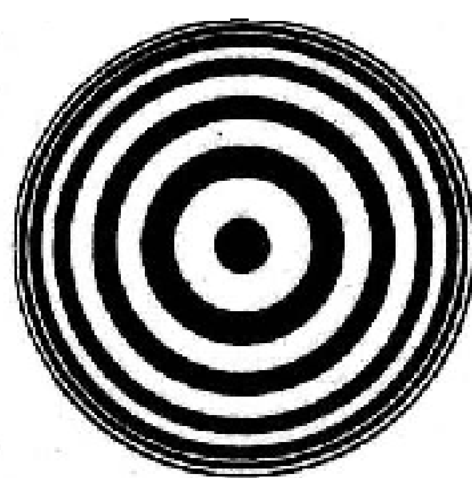


圖4—311
由射入光線顯示之牛頓圈

於使用白光時，在這些圓圈位置上所發生的不是簡單的黑白圈，而是一種有如彩虹似的含有各種顏色的圓形色帶，如夫累涅爾實驗所獲致之結果。

在透過光線中，倘用單色光，則其中心點是明亮的；而由射入光線顯示之明暗相間的圓圈，其位置剛好倒了過來。倘用白光，則在各圓圈上由膜反射之光與透過的光互成補色。

利用牛頓圈可測定光波波長。當單色光（例如用黃色鈉光），從遙遠的光源垂直照射實驗裝置上時，用放大鏡觀察其在反射光線中形成之黑圈。黑圈的直徑$2r_k$，可在附於牛頓平凸透鏡邊緣的紙標尺上，準確地讀出之。

設R爲所用平凸透鏡之曲率半徑，則和圓圈半徑r_k 相應之空氣層的厚度d即可根據圖4—312由下式求得之：

$$d = \frac{r_k^2}{2R}$$

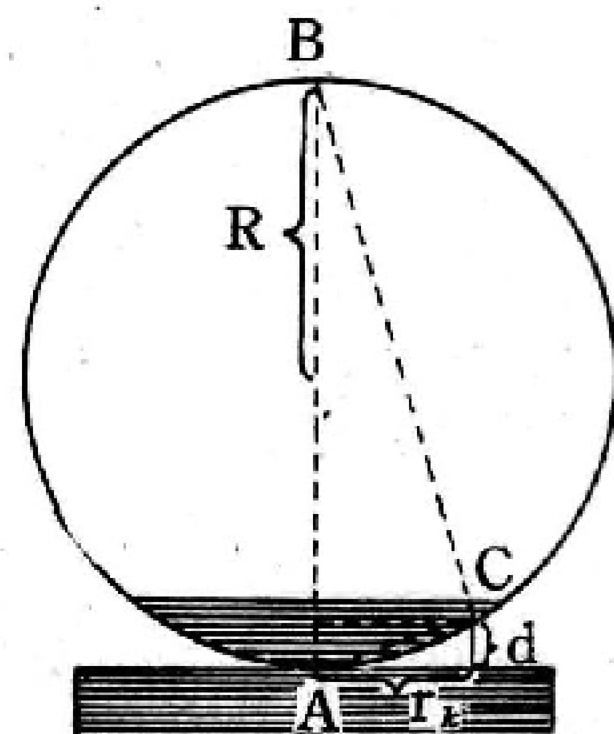


圖4—312
用牛頓圈測定光波波長

因爲根據幾何定律，就直角三角形ABC的高r_k而言，其平方乃與底邊上被分割的二線段（$2R-d$）與d之乘積相等

，即$r_k^2 = (2R-d)\times d$。又因透鏡之曲率甚小，使得$2R$與d相形之下，不知大了多少倍，所以我們就用$2R$來代替$(2R-d)$，則得$r_k^2 = 2R\times d$，上式$d=\frac{r_k^2}{2R}$即由此而來。根據量得的圓圈半徑r_k及已知之曲率半徑R，即可求出厚度d。

然後再由破壞性干涉的條件，S_1與S_2差半個波長，而路程之差來回爲$2d=k\lambda$，波長之整數倍，則二者位相仍然相反，而做破壞性之干涉。

$$d = 2k\times\frac{\lambda}{4}$$

而求出波長

$$\lambda=\frac{4d}{2k}=\frac{2d}{k}=\frac{r_k^2}{k\times R}$$

式中之k係指討論中之黑圈的序數，即1，2，3，4等數中之某一數，後者乃與不斷增加之空氣層厚度d以及不斷增加之圓圈半徑r_k相應。只要量得不同序數之幾個圓圈半徑r_k，因而求出λ之平均值，即獲致有用之結果。以黃色鈉光而論，應用上述方法所求出之波長，與其實際波長$\lambda=0.589$微米，極爲接近。因此處的波長係在薄層之內所測定的。在牛頓圈的實驗中，該薄層是由空氣所形成，所以我們所測定的乃是在空氣中的波長λ_L。倘用水來代替空氣層，則所得到的就是黃色鈉光在水中的波長λ_W。由於某一特定光色之頻率n是固定不變的，所以根據波之傳播之基本公式$C=n\times\lambda$，在水中之光速C_W就會與在空氣中之光速C_L有所不同。因此

$$C_L = n\times\lambda_L$$

及

$$C_W = n\times\lambda_W$$

即得

$$\frac{C_L}{C_W}=\frac{\lambda_L}{\lambda_W}$$

因爲根據牛頓圈的實驗結果，鈉光在水中之波長要比它在空氣中之波長短些，所以佛科光速測定實驗的正確性也就獲得證實了，蓋此一實驗告訴我們，光在水中的傳播速度，確是要比在空氣中者慢些。

至於反射光線中顯示牛頓圈的中心呈現黑色的原因可以釋之如下：在B與P（圖4—310）之間的空氣層，其位於中心點的厚度d，在理論上原應爲零。但實際上此處尙存有一層空氣，雖然其厚度d與波長λ相較確是異常微小。因此，抵達此處之光線S遂分成S_1與S_2二部分。S_1是在空氣層上層反射出來的，S_2則是在空氣層下層反射出來的。S_2是在光密介質上（即在圖4—310之玻板P上）反射出去，故會遭受到半個波長之程差。而S_1係在光疏介質上反射出去，所以不會遭受到此種損失。於是，S_1及S_2之間便會發生半個波長之程差，因此相互抵銷而顯得黑暗了。也就是說，在反射光線中，其中心點所以是黑暗的道理，即在於此。

再以透過光線而論，光線S_4所多行之路程（圖4—309中爲$BC+CD$），由於中心點空氣層厚度d極其微小之故，不關重要。但是光線S_4由於其在光密介質上經過了二度的反射（在圖4—310之玻板P及透鏡B上），故其遭受到的波長損失乃等於半個波長之二倍，亦即光線S_4與光線S_3二者之程差，正好是等於整個波長。因此S_3與S_4之間會發生互相加強的作用。所以在透過光線中，其中心點會顯得明亮之原因即在於此。

【牛頓第一運動定律】（Newton's first motive law）

牛頓採用伽立略的原理，定爲其三個運動定律的第一定律。以下爲牛頓第一定律之敍述：“各物體繼續其靜止狀態，或其在直線上之等速運動狀態，除非有力作用於上而被迫改變其狀態”。簡言之，物體若

不受外力，則靜者恆靜，動者恆動（作等速直線運動）。

注意物體在靜止時與以等速度運動時，第一定律並無差別。不受力時均爲"自然"運動。當物體靜止於一慣性系，從第二慣性系觀察，對前一系言，第二系以等速度運動。第一系中之觀察者看見物體靜止，第二系中之觀察者看到同一物體以等速度運動。二觀察者均發現物體並無加速度，即速度並無改變，並均從第一定律斷定無力作用於物體。

又注意較複雜之情形，當無任何力與雖有力但合力爲零之情況下，第一定律仍無差別。例如以手推書恰抵銷作用於書之摩擦力，書本將以等速度運動。因此，第一定律可另述之爲：若無淨力作用於物體，其加速度$\vec{a}$爲零。

若物體與環境中之物體間有相互作用，此作用可改變物體運動的"自然"狀態。

本定律係就物體不受力的影響時而言者。此定律說明力的作用及物體具有慣性的特徵，故又名爲"力的定義"或"慣性定律（*law of inertia*）"。依此所言：$\Sigma F = 0$，即$a = 0$，則$V = \frac{s}{t}$；故此可視爲第二定律之特例。振衣除塵、潑水而出、坐車傾仰…等現象皆可據此解釋。

【牛頓第二運動定律】（Newton's second motive law）

我們如果使物體由靜止進入運動，則物體之質量愈大時，以及在愈爲短暫的時間中完成這項動作時，我們所耗費的肌肉勞力愈大。

所謂物體之"進入運動"，顯然指的是一種速度的變化，蓋其速度乃是由零而連續地演變成某一特定之大小。此項以時間單位（秒）爲基準的速度變化，我們稱之爲加速度。因此在愈短的時間內，倘欲達到某一定的速度時，則勢非具有愈大的加速度，這也就是勢非加上愈大之力不可。

除了加速度以外，與物體之"進入運動"有關之另一大小乃是質量

。質量愈大時，如果要達到同一加速度，則所需之力也愈大。一輛空車只要一個人就可以輕易地使其進入運動；這也就如我們所說，空車的慣性較小。另一方面，滿載車輛的慣性較大，所以要費若干人之力方能使其達到同一加速度。

有一項知識頗爲重要的，那就是：我們使物體獲得加速的這一件事和重量並無關係。當我們使一個重的飛輪（圖4—313）、一扇鐵門或一個用繩子懸吊的鉛球進入運動時，我們誠然非勞動肌肉不可，但其意義並不是爲了需要應付物體的重量；蓋在上述各情形中，重量已由各該懸掛設備（軸、鉸鏈、繩子）承受而抵銷了。我們從事此種使一個飛輪進入運動的實驗時，不論此一飛輪是放在地球上的任何地點，或是在火星上（飛輪之重量在火星上將減輕三分之一），甚至在一個全無重力的空間裏，其可覺察之阻力恆爲同一大小。所以說，當一物體進入某一定加速度狀態時，其質量所顯示之阻力，不論在何處大小都是相等的，這也就是說，不管質量到底是多大，克服此項阻力所需之力卻到處都是同一大小。在所有這一類情形之下，有一極端重要而與質量之重量無關的特徵，那就是質量之慣性。一切物體除了有重的特性外，另具有一種慣性的特性。物體質量的此種慣性對於物體運動狀態的任何變化均顯出一種阻力，此一阻力，我們稱之爲慣性阻力。因此，慣性阻力僅當一質量正在進入運動時，也就是正在被加速時方才出現。質量一旦進入運動以後，即能等速地繼續運動下去，然後只要克服摩擦阻力就行。而此一阻力在通常的情形下，均較慣性阻力爲小。如衆所知，拖動一輛車子時，比起保持這輛車子作等速運動時，恆需消耗較大之力，蓋在後一情形下，只要克服摩擦阻力即能達到目的。

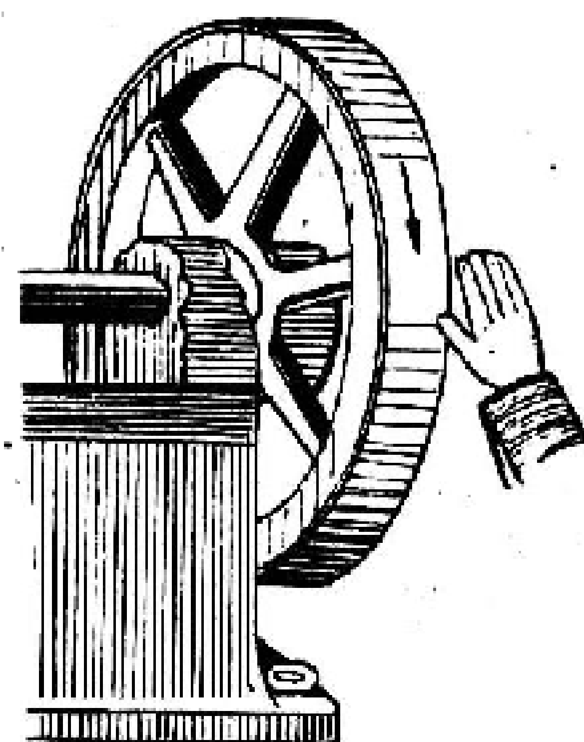


圖4—313
在使飛輪加速時，所需克服的並不是它的重量，而是其慣性質量之阻力。

至於質量與重量（或是慣性與重量）之間的聯帶關係；換言之，也就是質量愈大，則慣性愈大。

因此，牛頓第二力學基本定律，亦即所謂加速度定律，遂可申述如下：物體受外力作用時，必得一加速度，此加速度之大小與所受作用力成正比，方向與作用力相同。

即 $$\vec{a} \propto \frac{\vec{F}}{m} \quad 或 \quad \vec{F} = km\vec{a}$$

式內 k 爲比例常數，其值由 F、m、a 三者所用單位而定。

牛頓第二定律亦可視爲倘若有一淨力作用於物體，則物體的動量將會改變，動量的改變率與淨力成正比，且在這淨力的方向上。

第二定律可以數式寫成

$$\vec{F} = k\frac{d\vec{p}}{dt}$$

其中 k 是一無向量比例常數。在物理學常遇到的單位制中，常數 k 被定義爲 1，因此上式變爲

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

在非相對論的範圍內，動量爲 $m\vec{v}$，因此

$$\vec{F} = m\frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}$$

這便是牛頓第二定律非相對論的表達式。

把質量乘速度作爲動量，只不過是在低速率範圍內的近似值。在速率高達可與光速比較時，我們便不能夠再用這種近似值，而須用相對論的動量表達式，再用牛頓第二定律做下去，爲清晰起見，我們重寫這些方程式

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

及

$$\vec{p} = m\gamma\vec{v} = \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

把$\vec{p}$的表達式代入第一式，並對時間 t 取微分，我們找到

$$\vec{F} = \frac{d}{dt}(m\gamma\vec{v}) = m\vec{v}\frac{d\gamma}{dt} + m\gamma\frac{d\vec{v}}{dt} \qquad (1)$$

上式的第一項與速度矢的方向相同。第二項含有速度矢的時間導數。因為速度矢的變化是可以指向任何方向的，我們可以把這變化分解成為一垂直於速度及一平行於速度的兩個分量。把垂直分量寫成加速度的垂直分量，即

$$\left(\frac{dv}{dt}\right)_{\perp} = a_{\perp}$$

我們得到 $F_{\perp} = m\gamma\, a_{\perp}$

在分析平行於速度方向的運動方程之前，我們先考慮計算$\frac{d\gamma}{dt}$的運算方法，這又牽涉到$\frac{dv^2}{dt}$的計算。我們知道，$v^2 = \vec{v}\cdot\vec{v}$，即速度矢$\vec{v}$本身的純量積（ *scalar product* ）。兩向量$\vec{A}$與$\vec{B}$的純量積等於兩向量的數值與兩向量所夾角度的餘弦的乘積，以$\vec{A}\cdot\vec{B}$表示，因此$\vec{A}\cdot\vec{B} = AB\cos\theta$。利用兩向量純量積的微分公式。

$$d(\vec{A}\cdot\vec{B}) = (d\vec{A})\cdot\vec{B} + \vec{A}\cdot(d\vec{B})$$

我們得到 $d(\vec{v}\cdot\vec{v}) = 2\vec{v}\cdot d\vec{v}$

或

$$\frac{dv^2}{dt} = 2\vec{v}\cdot\frac{d\vec{v}}{dt} = 2\vec{v}\cdot\vec{a}$$

倘若我們把$\vec{a}$寫成平行於速度及垂直於速度兩分量的向量和，則向量積$\vec{v}\cdot\vec{a}$可以用速率 v 及加速度的平行分量 $a_{\parallel}$ 表達出來

$$\frac{dv^2}{dt} = 2va_{\parallel}$$

把這結果應用到（1）式我們得到

$$F_{\parallel}=m\gamma^{3}a_{\parallel} \quad (2)$$

爲了易於比較，我們重寫的$F_{\perp}$方程

$$F_{\perp}=m\gamma a_{\perp} \quad (3)$$

在（2）式中，a的係數有時被給予特別的名稱。$a_{\parallel}$的係數$m\gamma^{3}$被稱爲縱向質量（*longitudinal mass*），而$a_{\perp}$的係數$m\gamma$則被稱爲橫向質量（*transverse mass*）。

在縱向分量及橫向分量兩方程中，加速度的係數是不同的，這意味著在高速率時加速度方向並不平行於力的方向。

（3）式是愛因斯坦在1905年推測到的，而於1909年被布哈雷（*A.H. Bucherer*）所證實。布哈雷利用了磁場對來自放射源的β射線（電子）的偏轉，因爲運動中的帶電粒子在磁場中所受到的力總是與其運動方向垂直的。

【牛頓第三運動定律】（Newton's third motive law）

在兩物體相互之間所發生之作用恆係大小相等而方向相反；簡言之，即爲：作用（希臘文*actio*）與反作用（希臘文*reactio*）大小相等。

現在舉一兩個例子來解釋此種關係；我們先從一項明顯的事實出發。一個螺旋彈簧只有在它的兩端以相反的方向被拉曳時，才會伸長。我們如果只拉它的右端，而讓其左端不受拘束時（圖4—314(*a*)），則彈簧絕不會產生應力；除非是同時將它的左端握牢才能如此。在這種情形之下（圖4—314(*b*)），勢必也要用左手拉曳，並且是用一同樣大小的反力來拉曳才行。此一作用亦可利用一座牢固的牆壁來代替（圖4—314(*c*)）。因此，其中之一手所生作用乃與同時由另一手所生之大小相等而方向相反的拉力作用發生了關聯。（就壓力作用而言，也是如此情形。當我們用拳頭抵壓一承受面時，便會顯明地感覺到該承受面的反壓

力。）二力乃屬同一大小而方向相反的，它們的運動作用因而互相抵銷了

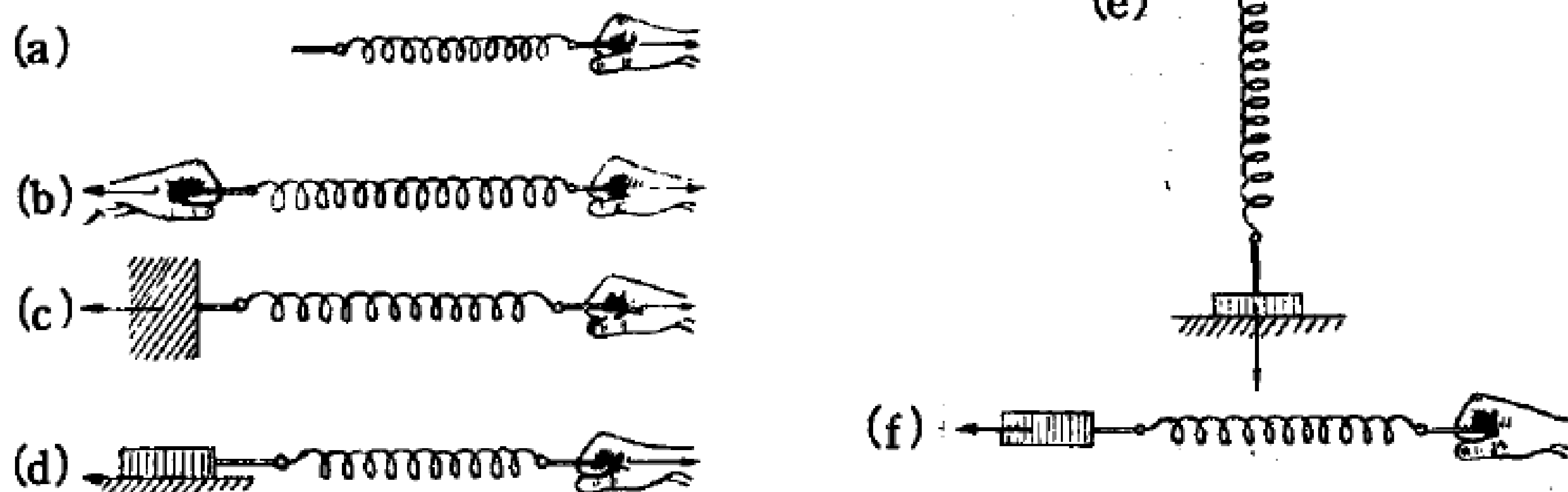


圖 4 — 314　兩物體相互之間所生之作用恆屬大小相等而方向相反

。右手對於左手所施作用之效果，一如左手以同一大小之反作用施於右手者然。在這兩力之間實難於劃分出一種單純的因果關係來。我們既可以將右手之力視爲在左手所生反力之原因，也可以將其視爲顚倒過來的後果。因此也就只能認爲在兩力（手）相互之間所生之作用乃是彼此相等而方向相反的。

設將此彈簧固定在一塊大木頭上，另用手拉曳桌上的這塊木頭時，結果亦能使該彈簧伸張（圖 4 — 314 (*d*)）。在此種情形之下，充當反力者乃係摩擦力。如將木塊向上垂直拉高時，則彈簧亦能伸張（圖 4 — 314 (*e*)）；唯這一次的反力乃是重力。最後，我們還可以用另一種方式使彈簧伸長，那就是如圖 4 — 314 (*f*) 所示，以臂力使該木塊進入一種加速度狀態，也就是用手加速地拉動木塊。由表面看來，此時只有一力在單獨發生作用似的。但彈簧只在兩端同時以相反方向拉曳時才能伸張。因加速的質量，這也就是該質量抗拒其速度有所變化的那個慣性阻力，在此處發生了作用了，而此作用就如同一大小相等的反力一般。

至於在二不同質量 M 和 m 之間的引力作用，也是如此情形。根據引力定律，二不同質量恆以一力互相吸引，此力之大小則與該二質量之乘積成正比，而與其距離之平方成反比。這也就是說，此一質量以一力吸

引彼一質量，而彼一質量亦以相等的力吸引此一質量。兩者如果能夠自由運動的話，則根據加速度定律，在同一力之影響下，較小之質量m獲得之加速度較大，所以運動得較快，而較大之質量M所獲得之加速度較小，遂運動得較慢。

設以a_1代表M之加速度，a_2代表m之加速度時，依照加速度定律遂得到$F=Ma_1$及$F=ma_2$。又因為F力是彼此相等的，故$M\times a_1=m\times a_2$，這就是說，$a_1:a_2=m:M$。由此可以看出，加速度是和物體的質量成反比的。因此，較小的質量運動得較快，較大者則較慢。

茲以一75 仟克重的物體為例，說明物體發生墜落的實際情形。在此例中，地球質量和物體質量二者之間係以75 仟克之力互相吸引。因此，地球質量之受到向上牽引和物體質量之受到向下牽引，在程度上乃是一樣的。此全部作用所產生之結果，遂為地球質量和物體質量之互相趨於接近。但75 仟克之力卻無法使龐大的地球慣性質量進入運動，所以在實際上，此項互相吸引的作用僅能使物體產生運動向地面墜落，但仍然是有反作用力的。

【牛頓萬有引力定律】(Newton's law of universal gravitation)

任意兩質量之間恆有一種吸引作用發生。每一質量均會吸引其他每一質量。吸引作用乃物質內在的特性之一，稱為萬有引力。兩質量之間，均以同一力互相吸引；這就是說，質量A會用一力吸引質量B，質量B亦會用同一力吸引質量A。兩質量如屬可以移動的，則兩者便以同一力而進入一種相向運動狀態。其中較小之質量要運動得比較快些，較大者則較慢。

例如，兩質點均為1克質量，相距1厘米時，即以約$1/15\times10^9$克左右之力互相吸引。各具75 仟克質量之兩人坐在同一條長櫈上，相距1米時，即以1/26,000 克左右之吸引力量，互相作用。但因此種

力爲量甚微，不能克服所有的摩擦阻力，故並不能使人進入運動狀態中。

地球上物體的重量不過是地球質量與物體重量互相吸引之結果。例如，在緯度 45° 處，1仟克質量與地球質量之間，便會發生一種用1仟克之力互相吸引的作用。這就是說，地球質量用1仟克之力吸引1質量仟克，同時此質量仟克亦用同一力量吸引地球質量。此二質量，如在一定距離內互相對立而能自由運動時，則在此種力的影響之下，兩者必定進入運動狀態。但是實際上，我們只會看到此質量仟克墜落到地面上的那一運動。而地球質量本身則是如此龐大（約爲 $6,000 \times 10^{8} =$ 600,000 億億質量噸），以至於1仟克的力絕不能使其進入運動狀態中。

同時，牛頓萬有引力定律可陳述如次：

藉一正比於兩物質量，而反比於兩物間距離平方的中心引力，能表示兩物體間的重力交互作用。

即

$$F = G\frac{Mm}{r^2}$$

【牛頓運動三定律】（Newton's three law of motion）

慣性定律、加速度定律及反作用定律，此三定律係牛頓（*Newton*）所確定，故合稱之爲牛頓運動三定律，爲一切運動之基本定律。

牛頓第一定律——一物體不受外力作用時，永遠保持靜止或等速度的運動狀態，即

當 $\vec{F} = 0$ 時 $\vec{a} = 0$

牛頓第二定律——作用於一物體的合力等於此物體的質量與其加速度的乘積，即

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

牛頓第三定律——二物體交互作用時，第一物體施於第二物體的作

用力$\vec{F}_{21}$與第二物體施於第一物體的作用力$\vec{F}_{12}$大小相等，方向相反，即

$$\vec{F}_{12}=-\vec{F}_{21}$$

牛頓第一定律原爲伽立略所發現的慣性原理，故亦常被稱爲慣性定律。這條定律不能夠被直接用實驗去證明；其原因是除非我們先有這條定律，否則我們實在無法回答一物體是否受外力的作用。因此，我們可將這一定律視爲由經驗推廣而得的。根據這一定律我們可曉得什麼叫做"力"。我們可以說，凡是能夠改變一物體的運動狀態（即其速度）的作用即稱爲力；或者說，力是使物體的運動狀態發生變化的原因。在這一定律裏我們牽涉到質點的運動狀態。

我們可將牛頓第二定律當作由實驗或觀測歸納出來的結果。它是一條眞正的物理定律，不可能用其他更基本的原理證明之，或者導出它。我們也不可將它看作定義力的公式。因爲定義一個名詞無所謂"對"與"錯"，而只有"好"與"壞"的差別，因此，如果將第二定律視爲力的定義，則$\vec{F}=m\vec{a}$應當在任何情況下都可成立；但是，我們看到牛頓運動定律的確有其適用的範圍，並不是任何情況下都可應用。原則上，我們可直接用實驗證明一物體的加速度與其所受的外力的合力成正比，即$\vec{F}\propto\vec{a}$。在這裏我們不包括假力。這一比例式的比例常數的大小與所用的物體有關。如果我們用同一種物質作實驗，我們將會發現將同一大小的力施於大小不同的物體時，其加速度與物體的大小成反比，即物體愈大，加速度愈小。對同一種物質，我們可以說體積較大的物體比體積較小的物體含有較多的物質。如果我們用m表示物體所含的物質的多寡，則力與加速度的關係可寫成

$$\vec{F}=km\vec{a}$$

因爲m愈大的物體我們愈不容易改變其運動狀態，故我們可用m來量度物體的慣性（*inertia*），所以我們稱m爲物體的慣性質量。現在我們

還未定義慣性質量的單位與力的單位，所以，爲方便起見，我們將上式的比例常數 k 規定爲1，則我們有

$$\vec{F}=m\vec{a}$$

有了牛頓第二定律後我們便有量度物體的慣性質量的方法。如果我們施一大小一定的力於慣性質量不同的物體上，則根據牛頓第二定律每一物體之慣性質量與其加速度的乘積應相等，即

$$m_1a_1=m_2a_2=m_3a_3=\cdots\cdots$$

原則上我們可量得每一物體的加速度 a_1,a_2 等等；因此，如果我們任意將其中一物體的慣性質量規定爲一單位質量（例如將 m_1 物體的質量稱爲1仟克），則其他物體的慣性質量便可應用上式直接由實驗求得。現在國際上所選定的"標準仟克"是存放在巴黎國際度量衡局裏的那一鉑－銥合金塊。

標準仟克被選定後，我們便可用第二定律來規定力的單位。如果一慣性質量爲1仟克的物體受一力的作用後得到1米／秒^2 的加速度，則我們稱此力爲一單位力，即一牛頓的力，故

$$1\text{牛頓}=1\text{仟克米／秒}^2$$

因爲牛頓第三定律所說的作用力（如$\vec{F}_{12}$）與反作用力（$\vec{F}_{21}$）是同時量度的，所以，除非兩物體間的交互作用是以無限大的速度傳播，否則這一定律只能算是一近似的自然律。現在我們曉得任何一種訊號（*signal*）傳播的速度都不能大於光速，故牛頓第三定律只能適用於兩物體間的作用力爲接觸力的情形（例如，用手推車或兩顆彈珠相撞等問題）；當兩物體很接近時，此定律也大致可成立。

【牛頓運動定律】（Newton's law of motion）

即牛頓運動三定律。

詳閱"牛頓運動三定律（*Newton's three law of motion*）"條。

【牛頓環】（Newton's ring）

或稱牛頓光環，即牛頓圈。

參閱"牛頓圈（*Newton's ring*）"條。

【王族星座】（Royal stars）

有些星座必須要在某個特定的季節方能看見。在秋夜，大約八點到十點的時候，我們可以在北方的低處先找到大熊星座，而在北極星另一面的仙后星座（*Cassiopeia*）那時已移近中天。試作一假想線，從北極星到仙王仙后二星座之間如圖4—315，更延長二倍於原來的長度。

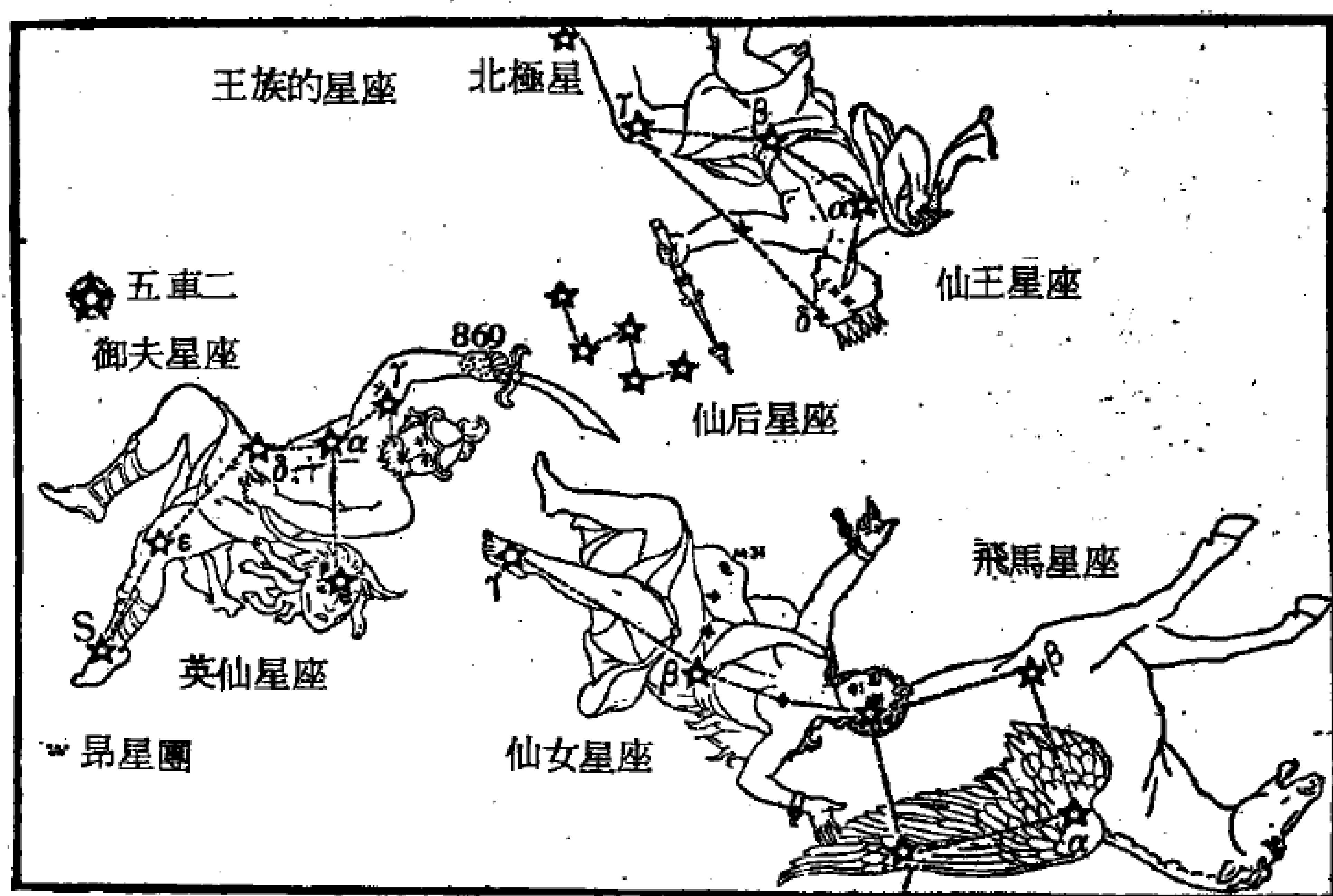


圖4—315

這條線便將引你看到了一組形成大正方形的四顆星，位在東方或東南方，離地平很遠。這是飛馬星座（拉丁名*Pegasus*）這正方形最近仙后星座的角子上那顆星，實在並非屬於飛馬星座，而是屬於仙女星座〔原名安德洛麥達（*Andromeda*）〕的。仙女星座是由三顆很亮的星組成，這三顆星差不多成一直線，從那正方形的角子上伸展開去，稍稍折向仙后星座，它們相互間的距離並不小。這飛馬、仙女二個星座合起來可以看做放大幾倍的小熊星座。那仙女星座在一線上的星數你或者會想是四不

是三，但是這第四顆星實在是另一叫做英仙星座（原名百爾修 *Perscus*）的 α 星。英仙星座包含接連的五顆星，下行指向地平，略爲彎曲，仙女星座便在這曲線的凹進一面。那星座的 β 星叫做大陵五（*Algol*），並不和這五顆星在一線之內，但位在這曲線的凹進那面。英仙星座頗像一隻弓，大陵五便在射手發箭時拉弦的手所居的地位。

仙王星座、仙后星座、仙女星座和英仙星座便合成所謂王族星座。